

## PENERAPAN PENDINGIN UDARA EVAPORATIF UNTUK KENYAMANAN TERMAL

**Azridjal Aziz, Ari Fauzi, Ade Irfan**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau

E-mail: azridjal@yahoo.com

### Abstrak

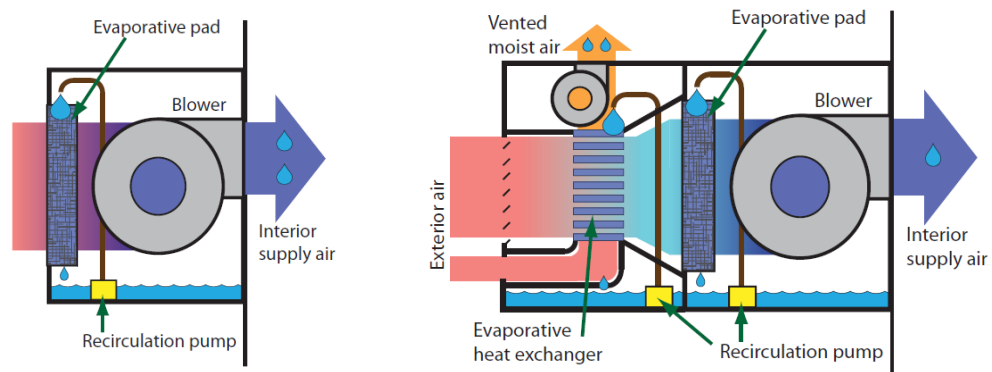
Penggunaan *Evaporative Air Cooler* (Pendingin Udara Evaporatif/ PUE) untuk mendapatkan kenyamanan termal membutuhkan biaya pemakaian yang lebih kecil dibanding menggunakan AC (*Air Conditioning*). Hal ini karena AC menggunakan kompresor untuk mensirkulasikan refrigeran sedangkan PUE menggunakan pompa untuk mensirkulasikan air pada proses pendinginan untuk mendapatkan kenyamanan termal. Pada penelitian ini dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik PUE. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan menggunakan PUE temperatur udara ruangan rata-rata 25,88 °C sedangkan tanpa menggunakan PUE, temperatur udara ruangan rata-rata adalah 28,40°C. Artinya, temperatur udara ruangan lebih rendah 2,52°C dibanding tanpa menggunakan PUE. Kelembaban relatif udara ruangan dengan PUE rata-rata adalah 91%, sehingga PUE hanya cocok digunakan pada ruangan yang memiliki sirkulasi udara lancar.

**Kata kunci:** *evaporative air cooler, air conditioning, kenyamanan, termal, kelembaban*

### Pendahuluan

*Evaporative Air Cooler* atau Pendingin Udara Evaporatif (PUE) telah digunakan selama berabad-abad di berbagai negara seperti Amerika, Australia, India, Inggris, China, Mesir, Arab Saudi untuk mendinginkan udara dan untuk menyediakan kenyamanan termal di daerah panas dan kering. Pengkondisian udara sangat dipengaruhi oleh temperatur dan kelembaban ruangan tertentu agar kenyamanan termal yang diinginkan tercapai. Sistem ini didasarkan pada prinsip bahwa ketika udara lembab tapi tak jenuh datang lalu kontak dengan permukaan yang dibasahi dimana temperatur udara lebih tinggi dari temperatur titik embun dari udara, air dari permukaan dibasahi akan menguap ke udara. Panas laten penguapan diambil dari air, udara atau keduanya. Dalam proses ini, udara akan kehilangan kalor sensibel namun memperoleh kalor laten yang akan menguapkan air. Dengan demikian udara akan didinginkan dan dilembapkan. Udara didinginkan dan dilembapkan dapat digunakan untuk memberikan kenyamanan termal (IIT Kharagpur, 2008). Kenyamanan termal menurut standar ASHRAE (*American Society of Heating Refrigerating and AirConditioning Engineer*) 55-1992, untuk kondisi musim panas atau daerah tropis berada pada temperatur 22,5°C - 27°C dan kelembaban relatif 19,8% - 79,5% (www.sensorion.com, 2010).

PUE merupakan proses pendinginan secara alami, mirip dengan hembusan angin yang mengalir melintasi permukaan air danau. Angin ini menurunkan temperatur dan memberikan efek pendinginan pada orang-orang sekitar danau. Sebuah PUE mendinginkan udara dengan cara penguapan air. Ketika air menguap ke udara, akan menghasilkan campuran molekul udara dan air. Proses penguapan ini memerlukan kalor, sehingga energi atau kalor laten akan diambil dari molekul udara dan ini menyebabkan turunnya temperatur udara (Honeywell, 2011).



(a) *Direct evaporative air cooler*

(b) *Indirect evaporative air cooler*

Gambar 1. *Evaporative Air Cooler* (Pendingin Udara Evaporatif/PUE)(enews, 2010)

PUE tidak sama dengan AC, karena tidak menggunakan kompresor dan refrigeran sebagai zat pendingin. Pada AC kenyamanan termal dicapai dengan mensirkulasikan udara ruangan melalui

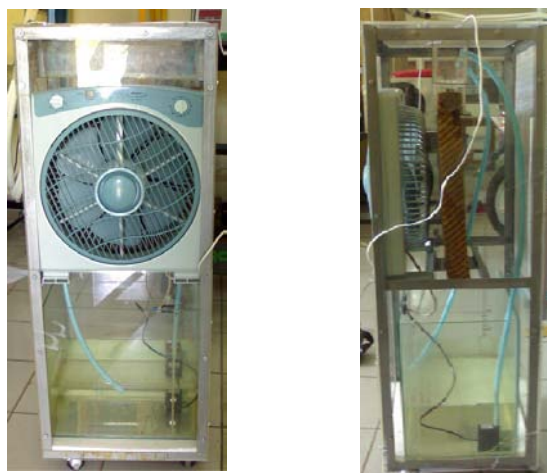
evaporator sebagai alat penukar kalor, sehingga menurunkan temperatur ruangan. Sedangkan pada PUE udara mengalir melalui media pad basah sehingga temperatur udara ruangan turun, air dipompakan untuk membasahi media pad. Proses pendinginan pada PUE dapat berlangsung dengan dua cara, yaitu: proses pendinginan evaporatif secara langsung (*direct evaporative cooling*) dan proses pendinginan evaporatif secara tidak langsung (*indirect evaporative cooling*), seperti dapat dilihat pada Gambar 1 (enews, 2010).

Kondisi iklim tropik yang hangat dan lembab masih dapat menawarkan kemungkinan yang baik untuk penggunaan pendinginan evaporatif, efek yang menguntungkan dari pendinginan evaporatif digabungkan dengan efek fisiologi pendinginan yang tersedia untuk meningkatkan kualitas udara dalam ruangan (K.P. Arandara dkk, 2010). Zhiyin Duan dkk, 2012, telah mengulas bahwa teknologi *Indirect Evaporative Cooling* memiliki potensi untuk menjadi alternatif untuk mekanik kompresi uap sistem pendingin konvensional untuk mengambil tugas AC untuk bangunan. José Rui Camargo dkk, 2004, menyajikan tiga metode yang dapat digunakan untuk efisiensi penggunaan sistem pendingin evaporatif dan mengaplikasikannya. Bahan media pad yang digunakan dalam sebuah pendingin evaporatif sangat mempengaruhi hasil pendinginan yang ingin dicapai (Seth I. Manuwa dan Simon O. Odey, 2012).

DEC (*direct evaporative cooling*), umumnya digunakan pada perumahan (*residential*) untuk mendinginkan udara dengan cara menguapkan air sehingga meningkatkan kadar air dari udara. Karena DEC akan meningkatkan kadar air dari udara, maka DEC harus ditempatkan dekat jendela atau pintu dimana udara dapat bersirkulasi dengan bebas dengan udara luar. Media pad yang digunakan sebagai media penguapan air, biasanya memiliki ketebalan 2,5cm - 5cm dengan efektivitas 55% - 70% (e-news, 2010). Pada makalah ini dilakukan kaji eksperimental untuk mengetahui karakteristik sebuah PUE, temperatur dan kelembaban relatif yang diperoleh serta jumlah air yang hilang saat PUE digunakan. Penelitian ini merupakan penenilitian awal untuk mengembangkan PUE untuk memberikan kenyamanan termal yang diinginkan.

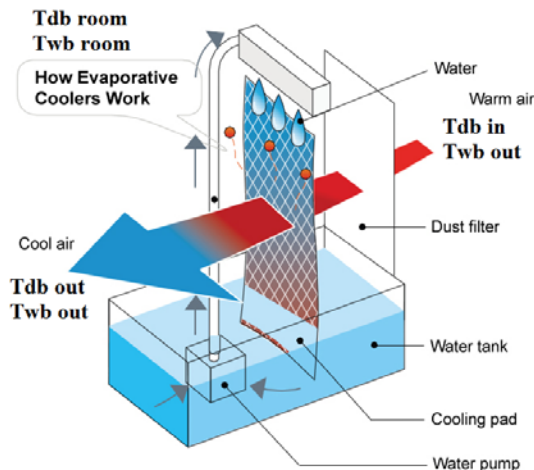
### Metodologi Penelitian

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode eksperimental untuk mengetahui karakteristik PUE dalam mendapatkan kenyamanan termal sebagai alternatif pengganti AC. Komponen utama sebuah PUE terdiri dari pompa air, bak penampung air, media pad (media penyerap air yang akan diuapkan), fan, dan sistem kontrol, sedangkan AC komponen utamanya: kompresor, katup ekspansi, evaporator, kondensor dan sistem kontrol, sehingga dari segi harga juga jauh lebih murah PUE dibanding AC. Proses pendinginan udara pada PUE dioperasikan oleh pompa sedangkan pada AC dioperasikan oleh kompresor sehingga konsumsi energi listriknya lebih rendah. Pengujian dilakukan pada PUE yang telah dibuat dan dirancang sebelumnya. PUE yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan di Gambar 2.



Gambar 2. Pendingin Udara Evaporatif (PUE) yang diuji.

Diagram skematik PUE yang diuji dapat dilihat pada Gambar 3, dimana sebuah PUE terdiri dari media pad/*cooling pad* evaporatif, tangki penampung air, pompa dan pendistribusi air gravitasi, blower atau fan.



Gambar 3. Diagram skematik pendingin udara evaporatif (PUE) (<http://www.lumacomfort.com/blog/how-do-evaporative-coolers-work/>)

Proses pengkondisian udara melibatkan campuran udara uap air. Saat campuran udara uap air tak jenuh didinginkan pada tekanan konstan, campuran tersebut lambat laun akan mencapai kondisi jenuhnya, sehingga tekanan parsial uap airnya akan sama dengan tekanan jenuh air. Temperatur pada kondisi jenuh ini disebut sebagai *dew point temperature* (temperatur titik embun) sedangkan kondisi dimana tekanan parsial uap sama dengan tekanan jenuh air ini disebut kondisi dengan kelembaban relatif (*relative humidity*) 100%. Jadi kelembaban relatif ( $\Phi$ ) adalah perbandingan antara tekanan parsial uap air terhadap tekanan jenuh pada temperatur campuran, seperti dinyatakan pada persamaan 2 (Reynold, 1977, Stoecker, 1982).

$$\phi \equiv \frac{P_w}{P_g} = \frac{\gamma Pa}{0,622 P_g} \tag{2}$$

dimana:  $P_w$  (tekanan parsial uap air),  $P_g$  (tekanan jenuh uap air),  $Pa$  (tekanan udara). Untuk tekanan atmosfer ( $P$ ) menurut aturan Dalton  $P = Pa + P_w$ .

Komposisi campuran udara uap air yang merupakan perbandingan antara jumlah massa uap air terhadap massa udara dalam campuran didefinisikan sebagai kelembaban spesifik (*specific humidity*) atau rasio kelembaban (*humidity ratio*). Kelembaban spesifik ( $\gamma$ ) dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\gamma \equiv \frac{m_w}{m_a} = 0,622 \frac{P_w}{Pa} \tag{3}$$

dimana:  $m_w$  (massa uap air),  $m_a$  (massa udara kering).

**Hasil dan Pembahasan**

Untuk mengetahui karakteristik PUE, data diambil pada beberapa kondisi berikut:

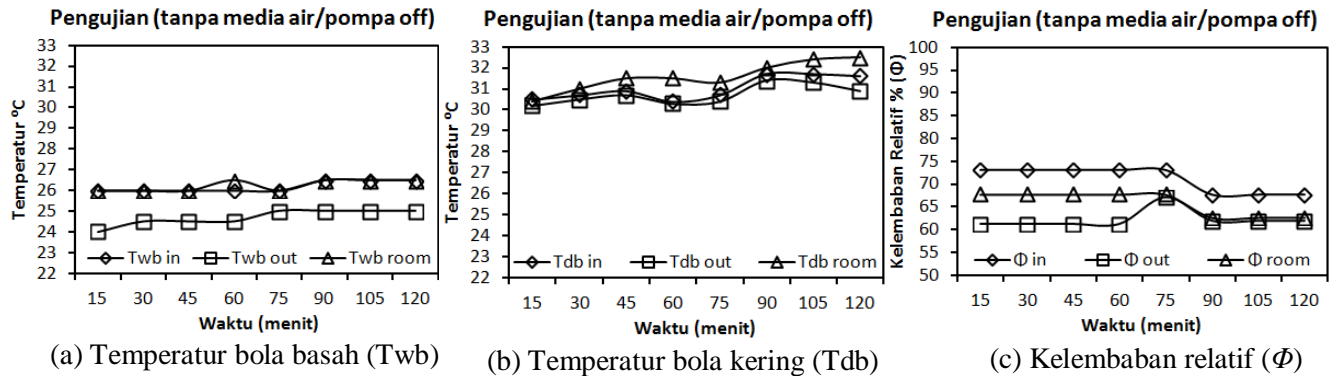
1. PUE dengan pompa off/media pad kering, pada kecepatan fan *high*
2. PUE dengan pompa on/media pad basah, pada kecepatan fan *high*
3. PUE dengan pompa on/media pad basah, pada kecepatan fan *medium*
4. PUE dengan pompa on/media pad basah, pada kecepatan fan *low*

**PUE dengan pompa off/media pad kering kecepatan fan *high***

Hasil pengujian PUE dengan pompa off/tanpa media air dapat dilihat pada Gambar 4, pengujian dilakukan selama 120 menit dengan interval waktu pengambilan data 15 menit. Kecepatan udara rata-rata fan pada kondisi *high* adalah 5,44 m/s. Temperatur bola kering rata-rata untuk Tdb in, Tdb out dan Tdb room adalah 31,03°C, 30,73°C dan 30,58°C. Temperatur bola basah rata-rata untuk Twb in, Twb out dan Twb room adalah 26,19°C, 24,69°C dan 26,25°C. Kelembaban relatif ( $\Phi$ ) untuk  $\Phi_{in}$ ,  $\Phi_{out}$  dan  $\Phi_{room}$  adalah 71,07%, 62,17% dan 65,75%.

Gambar 4 menunjukkan bahwa terjadi penurunan Twb sekitar 1,5°C pada Tdb yang cenderung konstan, setelah melewati media pad yang kering, karena pompa pada kondisi off.

Penurunan  $T_{wb}$  ini sebanding dengan penurunan  $\Phi$ , karena nilai  $\Phi$  ini dipengaruhi harga  $T_{wb}$ . Penurunan  $\Phi$  sebesar 8,9% ini terjadi karena sebagian kandungan uap air di udara diserap oleh media pad, karena sifat media pad yang higroskopis, sehingga menyebabkan  $\Phi$  turun.

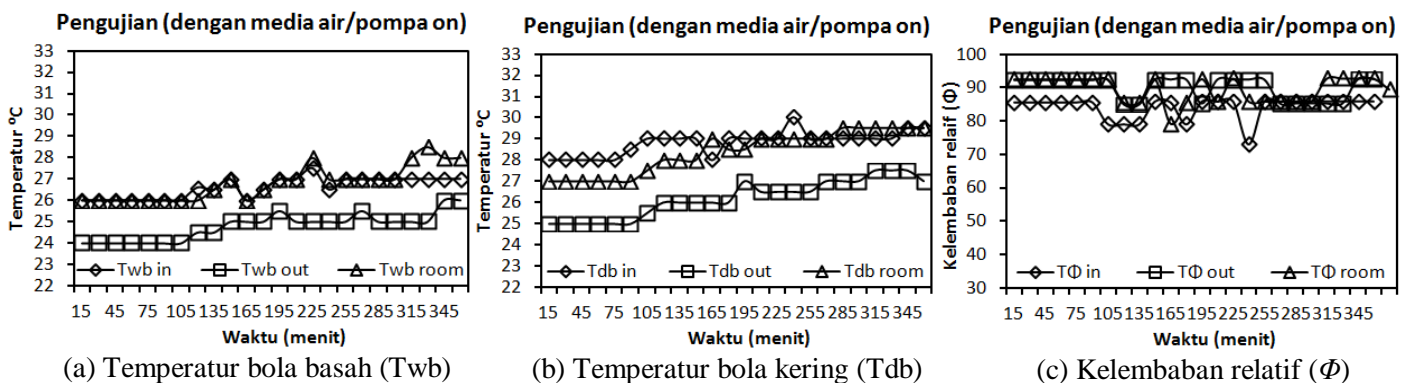


Gambar 4. Pengujian PUE tanpa media air/pompa off ( $T_{db}$ ,  $T_{wb}$ ,  $\Phi$ )

**PUE dengan pompa air on/media pad basah pada kecepatan fan *high***

Pengujian PUE dengan kondisi pompa air on/media pad basah pada kecepatan fan *high* dapat dilihat di Gambar 5. Kecepatan udara rata-rata melalui fan pada kondisi *high* adalah 5,44 m/s. Temperatur bola kering rata-rata untuk  $T_{db}$  in,  $T_{db}$  out dan  $T_{db}$  room adalah 28,80°C, 26,20°C dan 28,40°C. Pengambilan data dilakukan selama 360 menit dengan interval waktu pengambilan data setiap 15 menit. Temperatur bola basah rata-rata untuk  $T_{wb}$  in,  $T_{wb}$  out dan  $T_{wb}$  room adalah 26,60°C, 24,80°C dan 26,80°C. Kelembaban relatif ( $\Phi$ ) rata-rata untuk  $\Phi_{in}$ ,  $\Phi_{out}$  dan  $\Phi_{room}$  adalah 84,10%, 89,90% dan 89,40%. Penurunan temperatur rata-rata:  $T_{db}$  dengan PUE sekitar 2,6°C dan  $T_{wb}$  sekitar 1,8°C. Sebanding dengan terjadinya penurunan temperatur ( $T_{db}$  dan  $T_{wb}$ ) setelah melewati PUE, penurunan ini diimbangi oleh kenaikan kelembaban relatif  $\Phi_{out}$ . Kelembaban relatif  $\Phi_{in}$ ,  $\Phi_{out}$  dan  $\Phi_{room}$  berada diatas 80%, hal ini terjadi karena kondisi cuaca pada saat pengujian yang cukup lembab.

Distribusi temperatur  $T_{db}$  in,  $T_{db}$  out dan  $T_{db}$  room serta kelembaban relatif  $\Phi_{in}$ ,  $\Phi_{out}$  dan  $\Phi_{room}$  dapat dilihat di Gambar 5. Kelembaban relatif  $\Phi_{out}$  hanya mengalami kenaikan sekitar 5,8%, kenaikan ini relatif kecil karena kelembaban relatif ruangan cukup tinggi. Jumlah air yang menguap pada pengujian selama 6 jam pada kecepatan *high* ini adalah 3 liter.



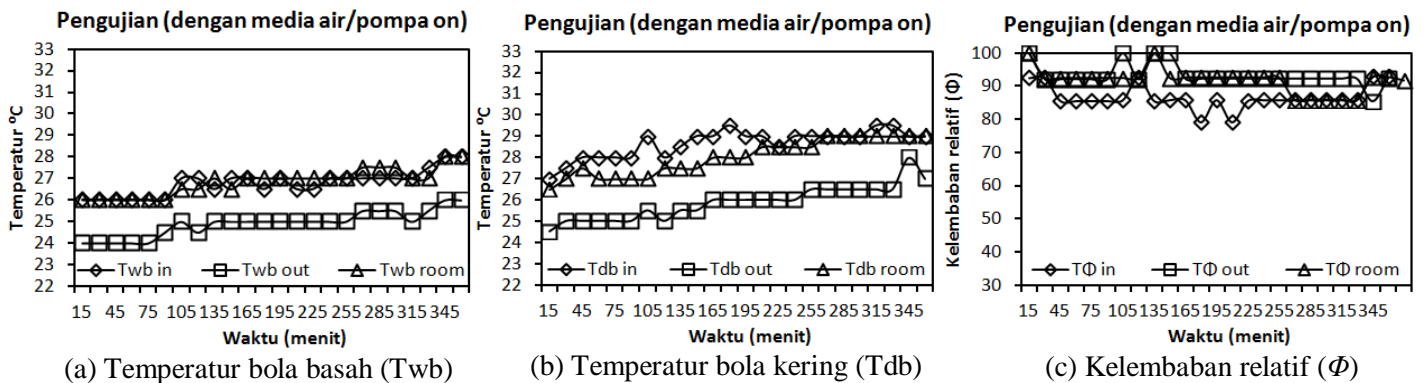
Gambar 5. Pengujian PUE dengan pompa on ( $T_{db}$ ,  $T_{wb}$ ,  $\Phi$ ) kecepatan fan *high*

**PUE dengan pompa air on/media pad basah pada kecepatan fan *medium***

Pengujian PUE dengan kondisi pompa air on/media pad basah pada kecepatan fan *medium* dapat dilihat di Gambar 6. Kecepatan udara rata-rata melalui fan pada kondisi *medium* adalah 4,94m/s. Temperatur bola kering rata-rata untuk  $T_{db}$  in,  $T_{db}$  out dan  $T_{db}$  room adalah 28,67°C,

25,88°C dan 28,02°C. Interval waktu pengambilan data adalah 15 menit, yang dilakukan selama 360 menit. Temperatur bola basah rata-rata untuk Twb in, Twb out dan Twb room adalah 26,77°C, 24,90°C dan 26,83°C. Kelembaban relatif ( $\Phi$ ) untuk  $\Phi_{in}$ ,  $\Phi_{out}$  dan  $\Phi_{room}$  adalah 86,58%; 93,29% dan 91,70%. Penurunan temperatur rata-rata: Tdb dengan PUE sekitar 2,79°C dan Twb sekitar 1,87°C. Sebanding dengan terjadinya penurunan temperatur (Tdb dan Twb) setelah melewati PUE, penurunan ini diimbangi oleh kenaikan kelembaban relatif  $\Phi_{out}$ . Kelembaban relatif  $\Phi_{in}$ ,  $\Phi_{out}$  dan  $\Phi_{room}$  berada diatas 80%, hal ini terjadi karena kondisi cuaca pada saat itu cukup lembab.

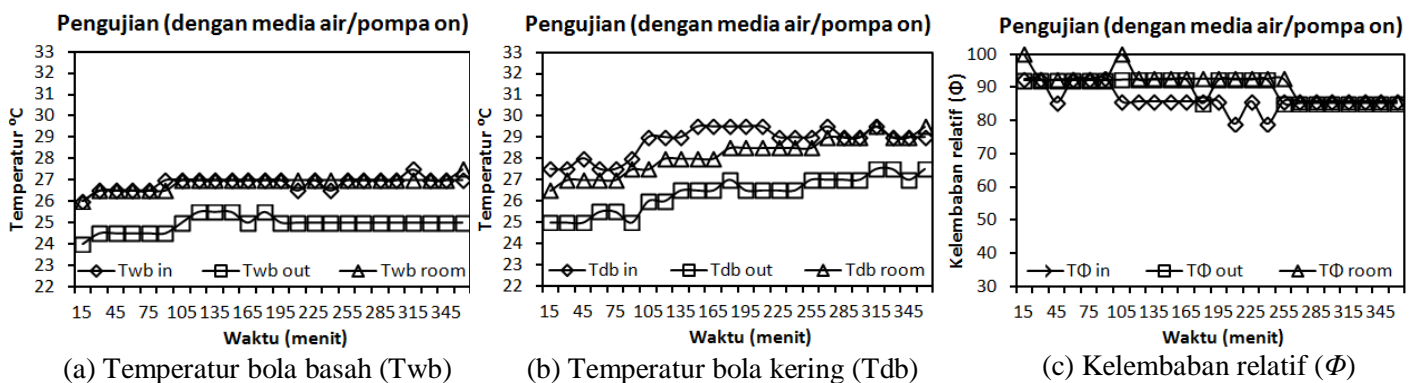
Distribusi temperatur Tdb in, Tdb out dan Tdb room serta kelembaban relatif  $\Phi_{in}$ ,  $\Phi_{out}$  dan  $\Phi_{room}$  dapat dilihat di Gambar 6. Kelembaban relatif  $\Phi_{out}$  hanya mengalami kenaikan sekitar 6,71%, kenaikan ini masih relatif kecil karena kelembaban relatif ruangan yang cukup tinggi. Jumlah air yang menguap pada pengujian selama 6 jam pada kecepatan medium ini adalah 2,8 liter.



Gambar 6. Pengujian PUE dengan pompa on (Tdb, Twb,  $\Phi$ )kecepatan fan medium

**PUE dengan pompa air on/media pad basah pada kecepatan fan low**

Hasil pengujian PUE dengan kondisi pompa air on/media pad basah pada kecepatan fan low, dapat dilihat di Gambar 7. Kecepatan udara rata-rata melalui fan pada kondisi low adalah 4,17 m/s. Temperatur bola kering rata-rata untuk Tdb in, Tdb out dan Tdb room adalah 28,81°C, 26,38°C dan 28,19°C. Interval waktu pengambilan data adalah 15 menit, yang dilakukan selama 360 menit. Temperatur bola basah rata-rata untuk Twb in, Twb out dan Twb room adalah 26,85°C, 24,94°C dan 26,88°C. Kelembaban relatif ( $\Phi$ ) rata-rata untuk  $\Phi_{in}$ ,  $\Phi_{out}$  dan  $\Phi_{room}$  adalah 86,61%, 89,91% dan 91,20%. Penurunan temperatur rata-rata: Tdb dengan PUE sekitar 2,43°C dan Twb sekitar 1,91°C. Sebanding dengan terjadinya penurunan temperatur (Tdb dan Twb) setelah melewati PUE, penurunan ini diimbangi oleh kenaikan kelembaban relatif  $\Phi_{out}$ . Kelembaban relatif  $\Phi_{in}$ ,  $\Phi_{out}$  dan  $\Phi_{room}$  berada diatas 80%, hal ini terjadi karena kondisi cuaca pada saat pengujian cukup lembab.



Gambar 7. Pengujian PUE dengan pompa on (Tdb, Twb,  $\Phi$ )kecepatan fan low

Distribusi temperatur Tdb in, Tdb out dan Tdb room serta kelembaban relatif  $\Phi_{in}$ ,  $\Phi_{out}$  dan  $\Phi_{room}$  dapat dilihat pada Gambar 7. Kelembaban relatif  $\Phi_{out}$  hanya mengalami kenaikan sekitar 3,30%, kenaikan ini masih relatif kecil karena kelembaban relatif ruangan cukup tinggi. Jumlah air yang menguap pada pengujian selama 6 jam pada kecepatan low ini adalah 2,7 liter.

Jumlah air yang menguap makin banyak dengan makin tingginya kecepatan fan yang menarik udara melewati media pad.

### **Kesimpulan**

Pada penerapan pendingin udara evaporatif (PUE) untuk kenyamanan termal telah dilakukan pengujian eksperimental sehingga diperoleh karakteristik PUE. Dari pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa, PUE dapat menurunkan temperatur bola kering, temperatur bola basah dan kelembaban relatif, berturut-turut adalah 2,79°C, 1,87 °C dan 6,71 % rata-rata sebesar 2,79 %, pada kecepatan udara fan *medium* sebesar 4,94 m/s. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pendinginan dengan PUE, temperatur ruangan rata-rata 28,40°C, turun 2,52°C menjadi 25,88°C (masih dalam kategori nyaman). Jumlah air maksimum yang menguap pada media pad sebesar 3 L, diperoleh pada kecepatan udara fan *high* 5,44 ms/. Kelembaban relatif  $\Phi$  rata-rata yang diperoleh 91%, sehingga penggunaan PUE hanya cocok digunakan di ruangan dengan sirkulasi udara yang mengalir lancar, agar kenyamanan termal yang diinginkan tercapai.

### **Daftar pustaka**

- Enews, 2010, [www.energydesignresources.com](http://www.energydesignresources.com), Energy Design Resources, enews no. 71.
- Honeywell, 2011, Honeywell Climate Control Evaporative Air Cooler, AirTek International Corporation Limited, Hongkong.
- <http://www.lumacomfort.com/blog/how-do-evaporative-coolers-work/>
- <http://www.sensorion.com>, 2010, Conditions of Thermal Comfort Influence of Humidity and Temperature on Personal Well-Being, Version 2.
- IIT Kharagpur, 2008, Refrigeration and Air Conditioning, Indian Institute of Technology (IIT) Kharagpur, India.
- José Rui Camargo, Carlos Daniel Ebinuma dan Sebastião Cardoso, 2004, Three Methods to Evaluate the Use of Evaporative Cooling for Human Thermal Comfort, Proceedings of ENCIT 2004, ABCM, Rio de Janeiro, Brazil.
- K.P. Arandara, R. A. Attalage, dan M. T. R. Jayasinghe, 2010, Thermal Comfort with Evaporative Cooling for Tropical Climates, International Conference on Sustainable Built Environment (ICSBE-2010).
- Reynolds dan Perkins, 1977, Engineering Thermodynamics, McGraw-Hill, 2<sup>nd</sup> Ed.
- Seth I. Manuwa dan Simon O. Odey, 2012, Evaluation of Pads and Geometrical Shapes for Constructing Evaporative Cooling System, Modern Applied Science; vol 6 no 6, 45-53.
- Stoecker dan Jones, 1982, Refrigeration and Air Conditioning, McGraw-Hill, 2<sup>nd</sup> Ed.
- Zhiyin Duan, Changhong Zhan, Xingxing Zhang, Mahmud Mustafa, Xudong Zhao, Behrang Alimohammadisag dan Ala Hasan, 2012, Indirect Evaporative Cooling: Past, Present and Future Potentials, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol 16, 6823–6850.

