

PENINGKATAN UNJUK KERJA PERALATAN AIR WASHER

Fandi D. Suprianto, Ekadewi A Handoyo
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Kristen Petra
Jl Siwalankerto 142-144, 60236
fandi@peter.petra.ac.id

Abstract

Air Washer adalah peralatan pengkondisi udara yang bekerja berdasarkan prinsip pendinginan evaporative. Peralatan ini seringkali digunakan di pabrik tekstil, termasuk oleh pabrik-pabrik tekstil di Indonesia untuk menghemat penggunaan energi proses pengkondisian udara dan untuk menyaring partikel debu, serat benang, atau kotoran di udara. Dengan kondisi udara (temperatur dan kelembaban) yang tepat, maka akan dapat menunjang kelancaran produksi dalam pabrik tekstil.

Unjuk kerja peralatan Air Washer ini diukur berdasarkan efisiensinya. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi unjuk kerja peralatan Air Washer, serta bagaimana mengaturnya agar efisiensi dapat ditingkatkan.

Melalui perancangan alat dan penelitian yang dilakukan dalam skala laboratorium, diperoleh hasil bahwa ada beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi, yaitu: kecepatan udara, jumlah deret nozzle, tekanan nozzle, dan rasio laju alir air-udara. Efisiensi air washer akan semakin meningkat apabila kecepatan udara di dalam alat semakin rendah, tekanan nozzle tinggi, rasio air-udara semakin besar, dan jumlah deret nozzle banyak.

Air Washer, pendinginan evaporative, pengkondisian udara

1. PENDAHULUAN

Air washer adalah merupakan salah satu aplikasi dari prinsip *evaporative cooling*. *Air washer* adalah sebuah ruang yang didalamnya terdapat rangkaian *nozzle* untuk menyemprotkan air dalam bentuk *spray* kedalam aliran udara. Selain berfungsi untuk mengkondisikan udara, *air washer* juga berfungsi sebagai penyaring kotoran/debu di udara.

Beberapa tempat di USA seperti Texas, Arizona, dan Oregon, memanfaatkan proses *evaporative cooling* untuk menghemat penggunaan energi untuk proses pengkondisian udara [1,2]. Selain USA, *evaporative cooler* juga digunakan di Australia, New Mexico, Inggris, Irlandia dan daratan Eropa.

Kelebihan *evaporative cooler* dibanding dengan sistem refrigerasi adalah, biaya investasi awal lebih rendah hingga 50%, biaya operasional lebih murah hingga 80%, paling cocok dipakai di daerah panas yang kering, memungkinkan menggunakan banyak udara segar (sedikit udara balik), dan semprotan air (*air washer*) dapat menyaring udara yang melaluinya [3].

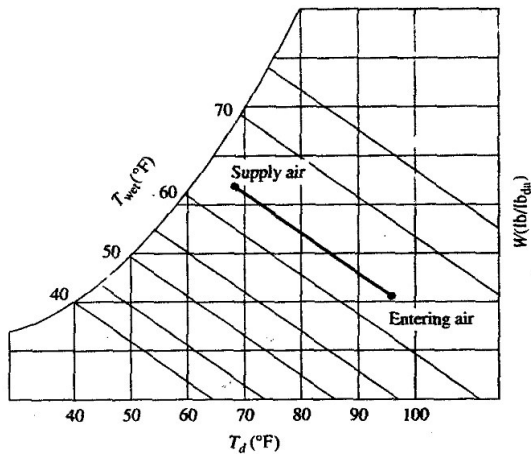
Air washer seringkali digunakan di pabrik tekstil, termasuk oleh pabrik-pabrik tekstil di Indonesia untuk mengkondisikan udara dan menyaring partikel debu, serat benang, atau kotoran di udara. Dengan kondisi udara (temperatur dan kelembaban) yang tepat, maka akan dapat menunjang kelancaran produksi dalam pabrik tekstil.

Untuk meningkatkan efisiensi peralatan *air washer*, maka perlu diketahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi dan bagaimana pengaruhnya terhadap unjuk kerja peralatan *air washer*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Proses pendinginan evaporative atau secara teknik disebut dengan proses pendinginan adiabatik yang terjadi pada sebuah peralatan *air washer* adalah suatu proses pengkondisian udara yang dilakukan dengan membiarkan kontak langsung antara udara dengan air, sehingga terjadi perpindahan panas dan perpindahan massa antara keduanya. Temperatur bola kering udara akan menurun dalam proses ini, dan panas sensibel yang dilepaskan digunakan untuk

menguapkan sebagian butiran air. Apabila selang waktu kontak air dan udara mencukupi, maka udara akan mencapai kondisi saturasi. Ketika kondisi equilibrium tercapai, temperatur air turun hingga sama dengan temperatur bola basah udara. Secara umum akan diperoleh bahwa temperatur bola basah udara sebelum dan sesudah proses adalah sama karena proses semacam ini terjadi di sepanjang garis bola basah yang konstan.



Gambar 1. Proses Pendinginan Evaporative

Berikut ini adalah fakta yang terjadi dalam proses pendinginan udara dengan cara saturasi adiabatik:

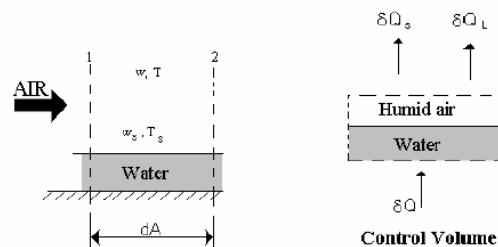
- Hanya terjadi perpindahan panas internal, jumlah panas sensibel yang dilepaskan adalah sama dengan jumlah panas laten yang diterima, dan jumlah panas total dari udara yang melalui pendingin adalah konstan.
- Temperatur bola basah adalah konstan, temperatur bola kering turun, dan temperatur *dew - point* naik.
- Titik-titik air dari *spray* pada *air washer* akan dengan sendirinya menyesuaikan pada temperatur bola basah. Apabila titik-titik air yang masuk pada pendingin memiliki temperatur lebih rendah daripada temperatur bola basah, maka mula-mula temperatur titik-titik air tersebut akan naik hingga mencapai temperatur bola basah kemudian baru menguap. Apabila titik-titik air yang masuk pada pendingin memiliki temperatur lebih tinggi daripada temperatur bola basah, maka temperatur titik-titik air itu akan turun hingga mencapai temperatur bola basah oleh karena terjadinya penguapan. Temperatur air yang akan masuk ke pendingin hanya memiliki pengaruh yang sangat kecil terhadap efisiensi pendingin oleh karena panas untuk pendinginan 1 lb air hingga mencapai temperatur bola basah biasanya kurang dari 10 Btu, sedangkan panas yang akan diserapnya ketika menguap adalah sebesar 1060 Btu.
- Kuantitas pendinginan udara yang dihasilkan adalah berbanding secara lurus terhadap jumlah air yang menguap.

e. Apabila kondisi udara jenuh tercapai, maka temperatur bola kering dari udara yang keluar dari pendingin adalah sama dengan temperatur bola basah dan sama dengan temperatur *dew - point*. Namun bagaimanapun juga, kondisi udara 100% jenuh jarang sekali dapat dicapai, dan udara yang meninggalkan pendingin walaupun memiliki batas temperatur bola basah sebagai batas paling rendah, namun sesungguhnya tidak benar-benar mampu mencapai temperatur itu.

Dari pengertian di atas, dapat diturunkan persamaan untuk menyatakan proses saturasi adiabatik dari campuran udara - uap air, yaitu jumlah panas sensibel yang dilepas adalah sama dengan jumlah panas laten yang diserap, atau secara matematis untuk satu satuan massa udara, dapat dinyatakan sebagai :

$$(c_a + c_w W)(dB - WB) = L_v (W_s - W) \quad (1)$$

Efektifitas Pendingin Evaporative



Gambar 2. Perpindahan kalor dan massa antara udara dan permukaan basah.

Perpindahan panas konveksi secara umum dinyatakan dengan:

$$dq_s = h_c dA(T_s - T) \quad (2)$$

Laju aliran panas sensibel dinyatakan dengan:

$$dq_s = m_a c_{pm} dT \quad (3)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2) dan (3) diperoleh:

$$h_c dA(T_s - T) = m_a c_{pm} dT \quad (4)$$

yang dapat diintegrasi pada batas-batas tertentu (gambar perpindahan kalor)

$$\frac{h_c}{m_a c_{pm}} \int_0^A dA = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{(T_s - T)} \quad (5)$$

menghasilkan

$$1 - \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_s} = \exp\left(-\frac{h_c A}{m_a c_{pm}}\right) \quad (6)$$

selanjutnya, efektifitas dari alat pendingin evaporative yang terkadang disebut juga efisiensi saturasi dinyatakan dengan:

$$\eta_{evap} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_s} \quad (7)$$

atau

$$\eta_{evap} = 1 - \exp\left(-\frac{h_c A}{m_a c_{pm}}\right) \quad (8)$$

Efektifitas ini dapat didefinisikan sebagai: penurunan temperatur bola kering yang dihasilkan dibagi dengan selisih temperatur bola kering dan temperatur bola basah udara yang memasuki sistem.

$$\eta_{evap} = \frac{T_{d,i} - T_{d,o}}{T_{d,i} - T_{w,i}} \quad (9)$$

Desain Peralatan

Konstruksi *air washer* terdiri dari sebuah ruangan yang didalamnya terdapat nozzle-nozzle untuk mengabutkan air. Udara dilewatkan pada semprotan air dengan dorongan dari blower atau fan, sehingga

udara kontak dengan titik-titik air, dan pendinginan adiabatik terjadi dalam ruangan.

Untuk keperluan eksperimen, maka sebuah alat *air washer* skala laboratorium dibuat dengan desain seperti pada gambar 3.

a. Casing

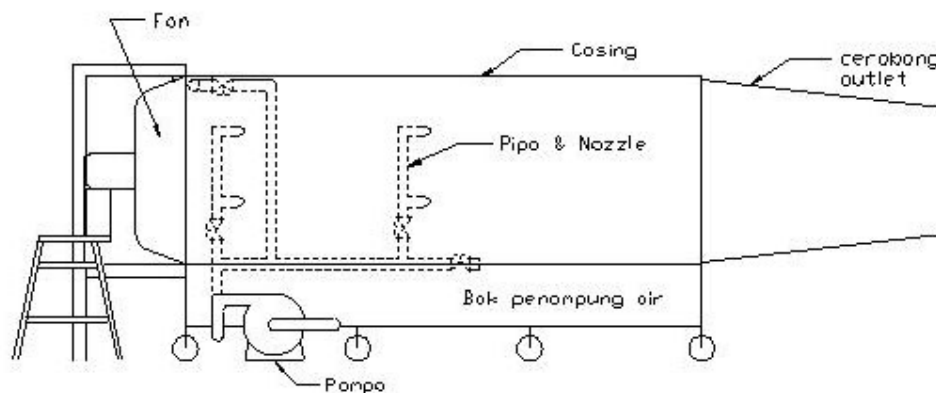
Hal-hal yang menentukan dalam perancangan dimensi casing adalah jumlah dan deret nozzle yang akan digunakan, serta radius dan jarak pancaran nozzle. Dalam alat ini ditentukan untuk menggunakan 2 deret nozzle yang masing-masing deretnya terdiri dari 4 buah nozzle yang dipasang secara simetris agar distribusi percikan air merata. Nozzle yang digunakan adalah nozzle dengan satu lubang berdiameter 3/4 mm.

b. Pompa

Pompa air yang digunakan untuk sirkulasi air pada alat *air washer* harus mampu memberikan tekanan pada nozzle sebesar 100 hingga 170 kPa. [4]

c. Fan

Fan yang digunakan untuk mengalirkan udara dalam sistem harus mampu menghasilkan kecepatan udara di dalam casing hingga sebesar 3 m/s. [4] Kapasitas udara dapat diatur dengan cara mengubah tegangan yang disuplai ke motor dengan menggunakan potensiometer variabel.



Gambar 3. Desain Peralatan *Air Washer*

Desain Eksperimen

Pengujian dilakukan di dalam (*indoor*) dan di luar ruangan (*outdoor*). Pengujian di luar ruangan dilakukan pada suhu lingkungan yang berfluktuasi dari pk. 14.00 WIB hingga pk.17.00 WIB, sedangkan pengujian di dalam ruangan dilakukan pada suhu yang dipertahankan relatif konstan dengan cara mengatur alat pengkondisi udara. Adapun variabel-variabel yang diuji adalah:

a. Jumlah deret nozzle

Terdiri dari 2 titik pengamatan, yaitu satu deret dan dua deret nozzle, dimana setiap deretnya dilengkapi dengan sebuah *valve* untuk membuka atau menutup aliran air yang melalui deret tersebut

b. Kecepatan udara di dalam *air washer*

Terdiri dari 5 titik pengamatan, yaitu: 2,7 m/s, 3,6 m/s, 4,5 m/s, 5,4 m/s, dan 6,3 m/s. Pengukuran ini dilakukan di outlet *air washer* yang berukuran 50cm x 50cm, sehingga apabila dikonversikan menjadi kecepatan udara di dalam *air washer* yang memiliki luas penampang 75 cm x 85 cm dengan menggunakan persamaan (2.37), berturut-turut menjadi: 1,059 m/s, 1,412 m/s, 1,765 m/s, 2,118 m/s, dan 2,471 m/s. Pengaturan kecepatan udara ini dilakukan dengan mengubah posisi potensiometer variabel yang dipasang pada motor fan.

c. Tekanan nozzle

Terdiri dari 5 titik pengamatan, yaitu: 1 bar, 1,2 bar, 1,4 bar, 1,6 bar, dan 1,8 bar. Pengaturan

tekanan nozzle dilakukan dengan mengatur besar atau kecilnya pembukaan keran air, sedangkan untuk pembacaan tekanan digunakan *pressure gauge* yang dipasang pada leher nozzle. Tekanan nozzle ini juga mempengaruhi laju alir air yang disemprotkan oleh nozzle.

d. Rasio laju alir air – udara

Titik-titik pengamatan dari variabel ini diperoleh dari penggabungan 2 variabel lain, yaitu kecepatan udara dan laju alir air. Sebab, rasio laju alir air – udara didefinisikan sebagai perbandingan antara laju alir air (Liter/detik) terhadap laju alir udara (m^3/detik).

Langkah – langkah pengujian

1. Mengatur jumlah deret nozzle yang akan digunakan. Membuka katup deret pertama dan menutup katup deret kedua untuk percobaan dengan satu deret nozzle, membuka katup deret pertama dan deret kedua untuk percobaan dengan dua deret nozzle. Selama melakukan percobaan *air washer*, katup aliran *evaporative cooler* tetap tertutup rapat.
2. Mengatur tekanan nozzle pada titik yang paling tinggi, yaitu 1,8 bar dengan menyetel pembukaan keran air.
3. Mengatur potensio variabel fan agar diperoleh kecepatan aliran udara di outlet sebesar 6,3 m/s.
4. Mencatat temperatur bola kering udara lingkungan (dB in), temperatur bola basah lingkungan (wB in), temperatur bola kering yang dihasilkan (dB out) dan temperatur bola basah yang dihasilkan (wB out). Pencatatan kedua dilakukan kurang lebih 2 menit setelah pencatatan yang pertama.
5. Menurunkan kecepatan aliran udara pada titik berikutnya dan mengulang kembali langkah nomor 4 hingga kecepatan udara 2,7 m/s.

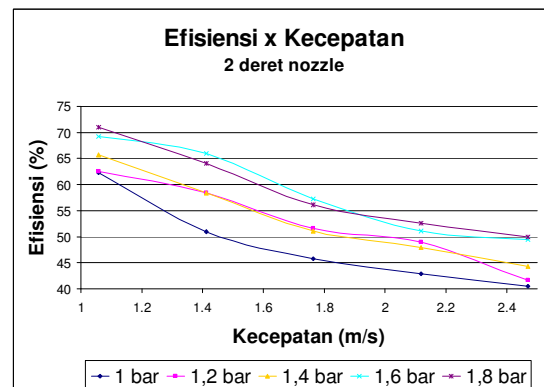
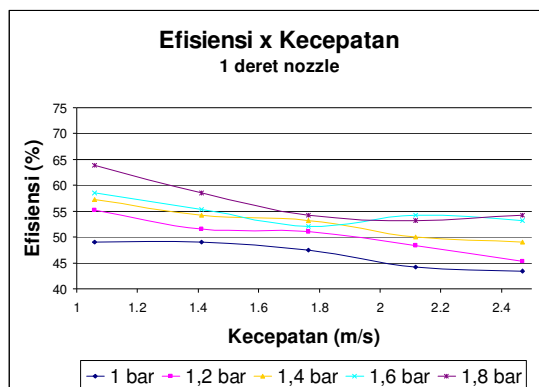
6. Menurunkan tekanan nozzle pada titik berikutnya dan mengulang kembali langkah nomor 3 sampai dengan 6 hingga tekanan nozzle 1 bar.

Setelah hasil pengamatan di setiap titik diperoleh, maka tahap berikutnya adalah tahap pengolahan data. Pengolahan data dilakukan mula-mula dengan mencari nilai rata-rata dari temperatur bola kering udara lingkungan (dB in), temperatur bola basah lingkungan (wB in), temperatur bola kering yang dihasilkan (dB out) dan temperatur bola basah yang dihasilkan (wB out). Nilai rata-rata dari setiap variabel ini digunakan untuk mencari nilai efisiensi pendinginan evaporative pada setiap titik percobaan. Perhitungan untuk mencari nilai efisiensi dilakukan dengan menggunakan persamaan (9).

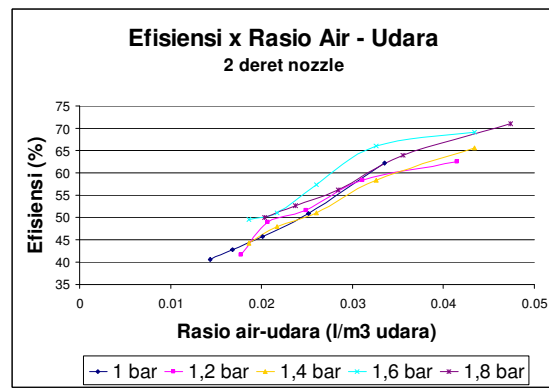
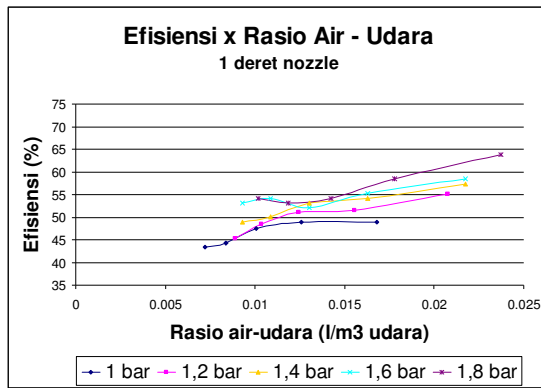
Untuk mempermudah pembacaan dan untuk menampilkan pola dari data-data yang diperoleh agar dapat memberikan informasi yang jelas, maka data-data yang diperoleh diplot dalam bentuk grafik yang menyatakan hubungan antara variabel-variabel tertentu dengan efisiensi.

3. HASIL PENELITIAN

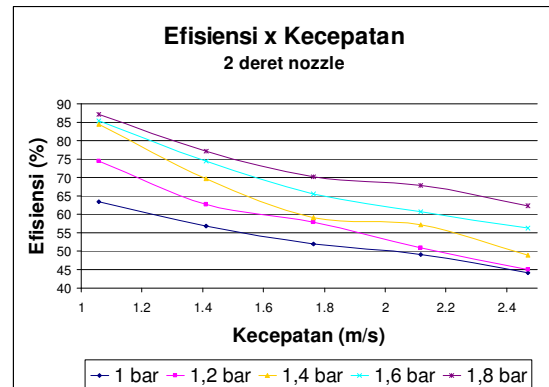
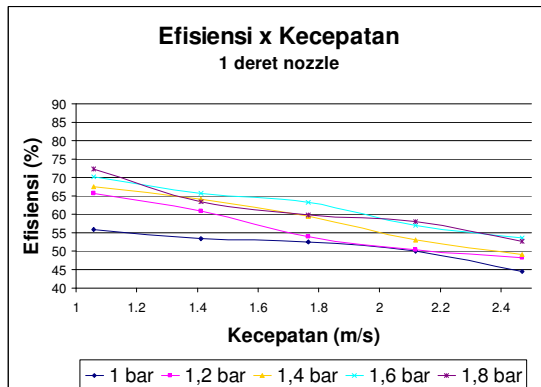
Gambar 4 sampai dengan gambar 7 menyatakan hasil pengujian peralatan *air washer* dengan jumlah deret nozzle 1 dan 2 deret pada kondisi di dalam maupun di luar ruangan. Grafik Efisiensi vs Kecepatan menggambarkan pengaruh kecepatan udara di dalam *air washer* (m/s) terhadap efisiensi pendinginan pada tekanan nozzle yang berbeda-beda, sedangkan Grafik Efisiensi vs Rasio Air - Udara memberikan hubungan antara rasio air – udara ($\text{liter air}/\text{m}^3 \text{ udara}$) terhadap efisiensi pendinginan pada tekanan nozzle yang berbeda-beda.



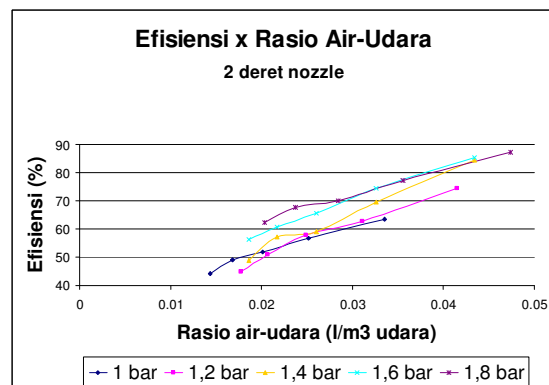
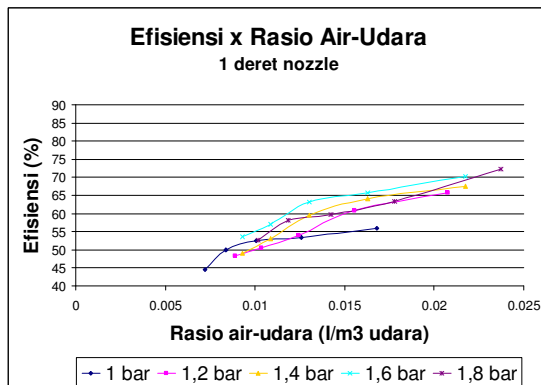
Gambar 4. Efisiensi x Kecepatan untuk kondisi indoor



Gambar 5. Efisiensi x rasio Air – udara untuk kondisi indoor



Gambar 6. Efisiensi x Kecepatan untuk kondisi outdoor



Gambar 7. Efisiensi x rasio Air – udara untuk kondisi outdoor

4. DISKUSI

Dari gambar 4 dan gambar 5 dapat dilihat bahwa faktor kecepatan aliran udara, tekanan nozzle, dan rasio air-udara menunjukkan kecenderungan yang hampir sama antara *air washer* dengan 1 deret nozzle dan *air washer* dengan 2 deret nozzle. Efisiensi yang dihasilkan oleh *air washer* dengan 2 deret nozzle sedikit lebih tinggi daripada efisiensi yang dihasilkan oleh *air washer* dengan 1 deret nozzle pada harga kecepatan, tekanan nozzle dan rasio air-udara yang sama. Efisiensi rata-rata untuk *air washer* dengan 1

deret nozzle adalah 52% dan efisiensi rata-rata untuk *air washer* dengan 1 deret nozzle adalah 54%.

Selain itu, dengan membandingkan gradien kemiringan antara grafik 1 deret dan 2 deret, dapat diketahui bahwa ternyata rentang besarnya efisiensi yang mampu dicapai oleh *air washer* dengan 2 deret nozzle lebih besar oleh karena gradiennya lebih besar daripada *air washer* dengan 1 deret nozzle. Dari perbedaan ini dapat diartikan bahwa efisiensi *air washer* dengan 2 deret nozzle lebih sensitif terhadap perubahan kecepatan dan rasio air-udara.

Pengaruh jumlah deret pada percobaan *air washer* di luar ruangan juga serupa dengan hasil yang

diperoleh dari percobaan di dalam ruangan, yaitu *air washer* dengan 2 deret nozzle memiliki harga efisiensi yang lebih tinggi daripada *air washer* dengan 1 deret nozzle pada harga kecepatan, tekanan dan rasio air-udara yang sama (gambar 6 dan 7), bahkan untuk percobaan di luar ruangan, kenaikannya cukup tinggi. Efisiensi rata-rata untuk *air washer* dengan 1 deret nozzle adalah 58% dan efisiensi rata-rata untuk *air washer* dengan 1 deret nozzle adalah 63%. Perbedaan gradien kemiringan juga tampak pada percobaan ini. Percobaan dengan 2 deret nozzle (gambar 6) menghasilkan gradien grafik kecepatan terhadap efisiensi yang lebih besar daripada percobaan dengan hanya 1 deret nozzle (gambar 6). Sehingga dapat disimpulkan bahwa efisiensi *air washer* dengan 2 deret nozzle lebih sensitif terhadap perubahan kecepatan dan rasio air-udara daripada *air washer* dengan 1 deret nozzle.

Percobaan *air washer* di luar ruangan memberikan harga-harga efisiensi pendinginan yang mayoritas lebih tinggi daripada percobaan di dalam ruangan pada kombinasi-kombinasi variabel yang sama. Hal ini mengindikasikan bahwa temperatur lingkungan yang panas mampu meningkatkan efisiensi *air washer* oleh karena udara yang memiliki temperatur tinggi mampu melepaskan panas sensibel lebih banyak daripada udara dengan temperatur rendah pada suhu bola basah yang sama.

5. KESIMPULAN

1. Alat *Air Washer* hasil rancangan memiliki efisiensi rata-rata 50% pada kondisi udara indoor dan 60% pada kondisi outdoor
2. Pada *Air washer*, efisiensi pendinginan akan naik apabila: kecepatan udara rendah, tekanan nozzle tinggi, rasio aliran air-udara besar, dan deret nozzle yang banyak.
3. Kondisi udara lingkungan juga berpengaruh terhadap efisiensi *air washer*. Efisiensi akan meningkat apabila *air washer* bekerja pada lingkungan yang panas dan kering, yaitu lingkungan yang memiliki suhu tinggi dan temperatur bola basah yang relatif rendah.

NOTASI

A	luas terjadinya perpindahan panas [m ²]
c _a	panas jenis udara kering [kJ/kg.K]
c _{pm}	panas jenis udara basah [kJ/kg.K]
c _w	panas jenis uap air [kJ/kg.K]
dB	temperatur bola kering [K]
h _c	koefisien konveksi [W/m ² .K]
L _v '	panas laten penguapan air [kJ/kg]
m _a	laju alir massa udara kering [kg/s]
q _s	laju perpindahan kalor sensibel [W]
T	temperatur udara rata-rata [K]
T _s	temperatur permukaan [K]

T _{d,i}	temperatur bola kering udara yang memasuki sistem [K]
T _{d,o}	temperatur bola kering udara yang keluar sistem [K]
T _{w,i}	temperatur bola basah udara yang memasuki sistem [K]
W	kelembaban spesifik udara sebelum proses [kg _{uap air} /kg _{udara kering}]
wB	temperatur bola basah [K]
W _s	kelembaban spesifik udara setelah proses [kg _{uap air} /kg _{udara kering}]

REFERENSI

- [1] **Evaporative Coolers** 1999. Energy Outlet. 18 Nov.2003<<http://energyoutlet.com/res/cooling/evap-coolers/index.html>>
- [2] **Evaporative Cooler** 2001. City of Phoenix. 18 Nov.2003
<<http://phoenix.gov/WATER/evapcool.html>>
- [3] Blanchard, Clive. 2001. **Evaporative Cooler**. <<http://www.coolmax.mx.com.au/evapcool/evapadv.htm>>.
- [4] **Air Washer Fundamentals** 2001. The Engineering ToolBox. 18 Nov. 2003
<http://www.engineeringtoolbox.com/37_139.html>
- [5] **Learn More about Air Washer Components** 2004. APT Industries - Charlotte, NC. 22 Des. 2006
<http://www.aptair.com/apt_air_washer_component_details.html>
- [6] Arora, C.P. **Refrigeration and Air Conditioning**. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, (1984)
- [7] Harris, Norman C. **Modern Air Conditioning Practice**. McGraw-Hill, inc, (1983)
- [8] Stoecker, Wilbert F., Jerold W. Jones. **Refrigerasi dan Pengkondisian Udara**. Jakarta: Penerbit Erlangga, (1996)