

## Analisa Parameter Udara Basah Pada Kinerja Direct Evaporative Cooler dengan Variasi Kecepatan dan Temperatur Udara Masuk

Bambang Suryawan, M.Idrus Alhamid dan Doni Bakar  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus Baru U.I. Depok 16424

### Abstrak

Ada beberapa parameter yang mengidentifikasi kuantitas udara antara lain adalah temperatur bola kering, temperatur bola basah, rasio humiditas, humiditas relatif, dan temperatur titik embun. Parameter tersebut dapat digunakan untuk membuat sebuah formulasi baru guna menentukan efektivitas peralatan pemrosesan udara. Apabila udara mengalir melalui "evaporative pad", maka temperatur bola keringnya akan turun. Pada keadaan temperatur bola basah dipertahankan konstan, temperatur udara yang mengalir melalui "wet pad" dapat turun sampai 5 °C. Hal ini terjadi karena kalor mengalir dari udara menuju air yang temperaturnya lebih rendah dari temperatur udara. Apabila temperatur udara yang mengalir dapat dianggap konstan, maka kalor tersebut akan dipergunakan untuk menguapkan butiran air yang ada pada "wet pad". Akibatnya rasio humiditas menjadi naik. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa terjadi kenaikan rasio humiditas sampai 2.22-gram air/kg udara kering.

### Abstract

There are some parameters that identify the quantity of air i.e. dry bulb temperature, wet bulb temperature, humidity ratio, relative humidity, and dew point temperature. These parameters can be used to construct a new formula in order to determine the effectiveness of air processing equipment. When air passes through an evaporative pad, its dry bulb temperature will decrease. It can be lowered to 5 °C, when its wet bulb temperature is maintained constant. Due to the air temperature is higher than the water temperature, so then the heat will flow from the air to water. If the temperature of flow air assumed remain constant, this heat is to be used to evaporate the water drops. So, it is caused increasing of the air humidity ratio. This research found out that the humidity ratio increased until 2.22-gram water/ kg dry air.

### 1. Pendahuluan

Dasar pemikiran teknologi *evaporative cooling* berawal dari konsep persinggungan antara udara dan air, di mana kedua material ini dipercayai sebagai inti-inti pembentuk kehidupan di bumi selain tanah dan api sebelum dikenalnya unsur-unsur Hidrokarbon oleh para ilmuwan. Berkembangnya pengetahuan manusia terhadap fenomena alam di sekitarnya menimbulkan suatu kesadaran bahwasanya udara itu dibentuk oleh unsur-unsur seperti nitrogen, oksigen, karbon, dan lain-lain serta juga partikel-partikel uap air. Yang terakhir disebut ini merupakan kunci dasar perhitungan dan perancangan pada sistem pengkondisian udara, karena kuantitas uap air dalam udara sangat berpengaruh terhadap kelembaban dan temperatur udara.

*Evaporative cooling* yang dimaksudkan dan akan dibahas dalam tulisan ini adalah peralatan pengkondisian udara (air processing equipment) yang memiliki media evaporatif sebagai media kontak antara udara dan air secara langsung sehingga menyebabkan terjadinya perubahan kalor sensibel menjadi kalor laten antara kedua material.

Pada proses direct, terjadi penambahan kandungan uap air di samping penurunan temperatur udara. Dengan iklim Indonesia yang basah, teknologi ini lebih cocok digunakan untuk jenis pengkondisian udara dengan aliran besar dan juga pada lingkungan industri. Keterbatasan penggunaan evaporative cooler pada iklim basah dapat dimanfaatkan dengan mengkombinasikan teknologi ini

berdampingan dengan sistem refrigerasi mekanis biasa, sehingga dapat diperoleh kondisi udara yang nyaman (comfort) dalam ruang perumahan dan perkantoran. [1]

## 2. Evaporative Cooling

Secara garis besar evaporative cooling dalam penggunaannya mengubah kalor sensibel menjadi kalor laten. Peralatan pengkondisian udara (air processing equipment) yang menggunakan prinsip ini antara lain adalah menara pendingin (cooling tower), evaporatif kondensor, pendingin ruang hampa, air washer, dan evaporative cooler. Udara didinginkan melalui proses evaporasi lapisan permukaan air dengan mengubah kalor sensibel menjadi kalor laten untuk menguapkan air ke dalam aliran udara. [2]

Evaporative cooler dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu: [3]

- *direct evaporative cooler* (pendinginan evaporatif secara langsung)
- *indirect evaporative cooler* (pendinginan evaporatif secara tidak langsung)

*Direct evaporative cooling* menurunkan temperatur bola kering (DB) dan meningkatkan kelembaban relatif udara. Proses ini cocok digunakan pada daerah beriklim kering atau untuk pengkondisian udara dengan laju aliran yang besar.

*Indirect evaporative cooling* merupakan kombinasi dari proses pendinginan evaporatif dan penukar kalor (heat exchanger) untuk menghasilkan pendinginan udara tanpa penambahan kandungan uap air (rasio kelembaban).

### 2.1 Parameter Udara Basah

Parameter udara basah yang menjadi tinjauan terhadap unjuk kerja *evaporative cooler* adalah: [4]

1. Temperatur bola kering (Dry bulb temperature, DB)
2. Temperatur bola basah (Wet bulb temperature, WB)
3. Rasio kelembaban ( Humidity Ratio, W)

$$W = \frac{(2501 - 2,381t^*)W_s^* - (t - t^*)}{2501 + 1,805t - 4,186t^*} \quad (1)$$

4. Derajat kejenuhan (Degree of saturation),

$$\mu = \frac{W}{W_s} \Big|_{t,p} \quad (2)$$

5. Kelembaban relatif (relative humidity, RH)

$$\varphi = \frac{\mu}{1 - (1 - \mu) \left( \frac{p_{ws}}{p} \right)} \quad (3)$$

6. Entalpi, h

$$h = 1,006t + W(2501 + 1,805t) \quad (4)$$

7. Temperatur pengembunan (dew point),  $t_d$

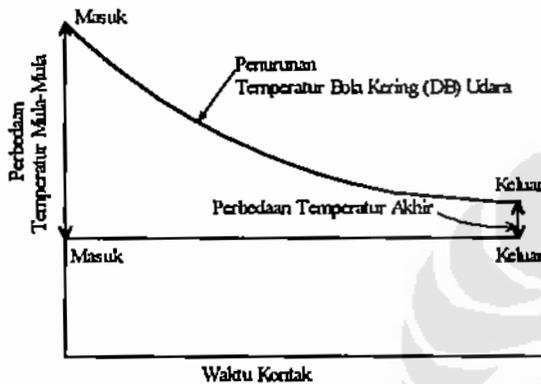
$$t_d = C_{14} + C_{15}a + C_{16}a^2 + C_{17}a^3 + C_{18}(p_w)^{0,1984} \quad \dots (5)$$

### 2.2 Karakteristik Evaporative Cooling

*Direct evaporative cooler* terdiri atas media evaporatif (evaporative pad), dan pompa sirkulasi air yang mengalirkan air dari tangki (bak) penampung. Air mengalir turun ke seluruh bagian media evaporatif dan kemudian masuk kembali ke dalam bak penampung. Proses pembasahan media evaporatif sangat menentukan efektivitas *evaporative cooler*, karena media evaporatif yang akan dilalui udara harus basah secara merata keseluruhannya. Sebuah fan digunakan untuk mengalirkan udara luar melalui media evaporatif dan terus menuju ruangan yang akan dikondisikan suhu dan kelembabannya. Proses ini harus berlangsung terus-menerus dan dalam waktu yang bersamaan untuk memungkinkan timbulnya kontak langsung antara udara dan air. [5]. Media evaporatif diperlukan untuk memperpanjang waktu kontak ini, karena semakin lama waktu kontak antara udara dan air yang disirkulasikan maka temperatur bola kering

udara keluar akan semakin mendekati temperatur air (gambar 1).

Temperatur bola basah udara masuk mempengaruhi efektivitas dan penggunaan dari evaporative cooler. Untuk temperatur bola basah di atas 25 °C, *evaporative cooling* lebih ekonomis untuk penggunaan pada lingkungan industri dan pertanian. Pada temperatur bola basah lebih rendah, *evaporative cooling* lebih efektif untuk pengkondisian udara untuk kenyamanan ruangan.



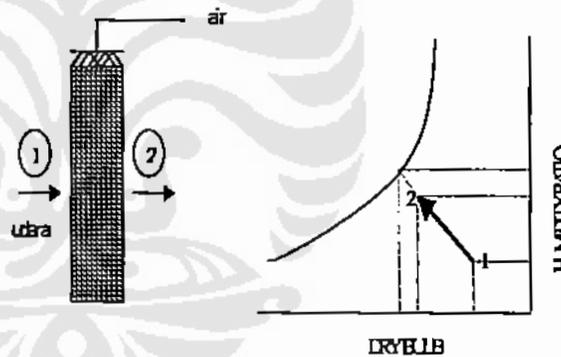
Gambar 1. Perubahan temperatur ketika terjadinya interaksi antara udara dan air [1]

Proses *direct evaporative cooling* merupakan proses perubahan kalor adiabatik. Kalor ini dibutuhkan untuk menguapkan air yang berasal dari udara yang dialirkan. Proses evaporasi air oleh udara menyebabkan temperatur bola kering pada udara menjadi turun. Jumlah kalor yang dilepaskan udara sama dengan jumlah kalor yang diserap oleh air yang mengalami penguapan. Sirkulasi air yang terus-menerus menjadikan temperatur air konstan cenderung konstan menuju temperatur bola basah udara masuk. Interaksi antara udara dan air pada evaporative cooling dapat dilihat pada gambar 1.

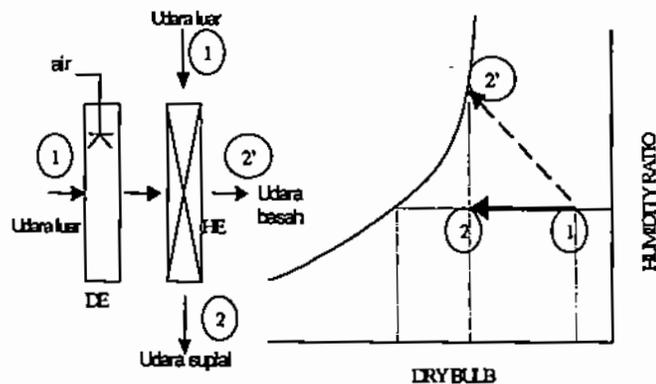
Karena tidak adanya penambahan atau pengambilan kalor pada proses adiabatik, kondisi awal dan kondisi akhir proses *direct evaporative cooling* ini berada pada garis entalpi yang konstan karena entalpi udara masuk sama dengan entalpi udara keluar dan posisi ini hampir bersesuaian dengan

garis temperatur bola basah konstan. Sehingga dapat juga disimpulkan, temperatur bola basah udara masuk sama dengan temperatur bola basah udara keluar.[4]

*Indirect evaporative cooling* memiliki dua jenis aliran udara yaitu aliran sekunder yang didinginkan secara evaporatif melalui media evaporatif, percikan air (spray), atau langsung oleh permukaan penukar kalor (heat exchanger). Kemudian aliran udara lainnya yaitu aliran udara utama (udara suplai) mengalami pendinginan sensibel tanpa bersentuhan dengan air akibat penurunan suhu udara sekunder. Udara sekunder yang telah menjadi udara lembab selanjutnya dilalirkan keluar untuk pemanfaatan lainnya seperti untuk pendinginan koil kondenser. Sedangkan udara suplai dialirkan ke dalam ruangan yang akan dikondisikan.



Gambar 2. Proses *Direct Evaporative Cooling* dalam diagram psikrometris



Gambar 3. Proses *Indirect Evaporative Cooling* dalam diagram psikrometris (Keterangan: DE=Direct Evaporative Cooler, HE=Heat Exchanger)

Pada saat terjadinya proses evaporasi langsung oleh aliran udara sekunder, pada permukaan heat exchanger laju perpindahan kalornya sangat besar dan temperatur permukaannya hampir mendekati bola basah udara suplai. Hal ini mengakibatkan penurunan nilai entalpi udara suplai dan tidak ada penambahan kandungan uap air (rasio kelembaban) pada udara suplai [6]. Proses ini berbeda dengan proses *direct evaporative cooling* dimana entalpi udara adalah tetap dan terjadi penambahan kandungan uap air pada udara.

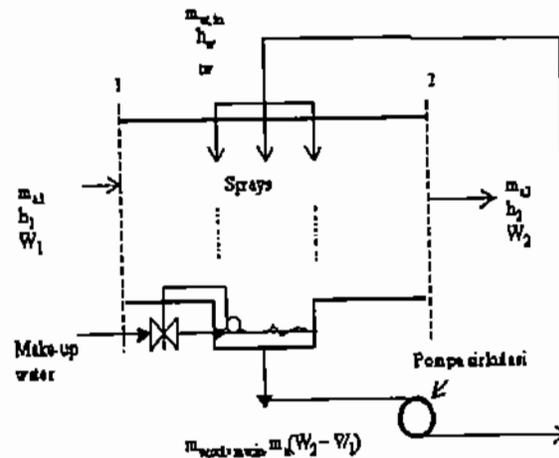
### 2.3 Perpindahan Massa Dan Kalor Pada Evaporative Cooling

Kontak langsung antara udara basah dan air memungkinkan timbulnya tiga jenis proses perpindahan sifat material yang berbeda secara fisis yaitu: [7]

1. perpindahan kalor akibat persinggungan udara dengan air, contohnya perpindahan kalor akibat konduksi dan konveksi
2. perpindahan kalor akibat radiasi
3. evaporasi lapisan permukaan air oleh udara yaitu konservasi bagian dari material cair menjadi uap dan transfer material (uap) akibat difusi dan konveksi.

Peran dan efek dari ketiga jenis proses ini berbeda-beda tergantung pada sifat-sifat fisis dan besaran-besaran parameter dari air dan uap basah.

Evaporasi lapisan permukaan cairan pada temperatur dibawah titik didih terjadi apabila tekanan parsial uap pada lapisan dekat permukaan cairan lebih besar dari tekanan parsial udara basah keseluruhan. Untuk kondisi aliran tunak (steady flow) pada volume atur  $dV$ : [4]



Gambar 4. Volume kontrol proses evaporatif cooling

$$m_a dh = -m_w dh_{f,w} + m_a dW h_{f,w} \quad (6)$$

Apabila suhu air  $t_w$  konstan maka,

$$m_a dh = m_a dW h_{f,w} \quad (7)$$

$$\frac{dh}{dW} = q' = h_{f,w} \quad (8)$$

dengan  $q'$  adalah rasio antara entalpi dan kelembaban. Nilai  $q'$  menunjukkan bentuk garis proses ini pada diagram psikrometris dan pada proses evaporative cooling.  $h_{f,w}$  adalah konstan (karena  $t_w$  konstan) sehingga pada evaporative cooling bentuk garis prosesnya adalah lurus (linear) dengan arahnya ditentukan oleh nilai  $h_{f,w}$

$$(q' = h_{f,w}).$$

Laju perpindahan kalor untuk evaporasi air berasal dari pendinginan secara konveksi aliran udara atau:

$$h_d A_v dV (W_{s,w} - W) h_{fg,w} = h_c A_v dV (t - t_w) \quad \dots\dots(9)$$

Suku sebelah kiri merupakan laju perpindahan kalor untuk menguapkan air (evaporatif) dan suku sebelah kanan adalah laju perpindahan kalor ketika terjadinya pendinginan aliran udara secara konveksi.

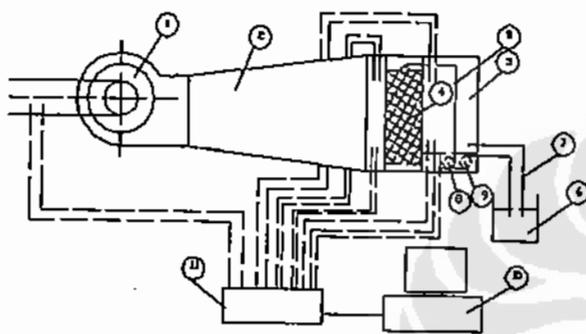
Persamaan efektivitas *evaporative cooler* menjadi

$$e = \eta_{ec} = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t^*} \quad (10)$$

### 3. Alat Pengujian

Skema diagram pengujian dapat dilihat pada gambar 5. [8]

Sistem pengujian terdiri atas satu paket *evaporative cooler*, satu buah fan dan sebuah difuser yang menghubungkan sisi keluar fan dengan sisi masuk *evaporative cooler*. Sistem ini dilengkapi dengan alat pengukuran dan sistem pengolahan data. Untuk mengkondisikan suhu air digunakan sebuah dispenser untuk suhu rendah dan sebuah heater untuk suhu tinggi (di atas 35 °C).



Gambar 5. Skema pengujian

#### Keterangan

1. Fan penyuplai udara
2. Difuser
3. Paket *evaporative cooler*
4. Media evaporatif (*evaporative pads*)
5. Saluran penyuplai air ke media evaporatif
6. Bak untuk pengkondisian air (temperatur tinggi atau rendah)
7. Saluran penghubung antara bak pengkondisian air dengan tangki pada *evaporative cooler*
8. Pompa untuk sirkulasi air dari tangki *evaporative cooler* dengan media evaporatif
9. Pompa untuk sirkulasi pengkondisian air
10. PC untuk pembacaan data
11. *Data Acquisition Control System* HP 3497A untuk pengambilan data

#### 3.1. Pengukuran Temperatur

Temperatur diukur dengan termokopel (tipe K) sebagai transduser dan dihubungkan dengan kartu (*card*) *Thermocouple Acquisition pada Data Acquisition Control System* HP 3497A yang terdiri atas 20 terminal (terminal K0 s/d K19). Karena pada pengujian ini hanya digunakan 11 buah termokopel maka yang digunakan

juga 11 buah terminal (terminal K0 s/d K10) dengan perincian sebagai berikut: [9,10,11]

1. Temperatur DB dan WB udara masuk fan
2. Temperatur DB dan WB udara masuk media evaporatif pada bagian atas dan bawah
3. Temperatur DB dan WB udara keluar media evaporatif pada bagian atas dan bawah
4. Temperatur air

#### 3.2. Pengukuran Laju Aliran Udara

Laju aliran udara,  $m_a$  diukur secara tidak langsung dengan mengetahui terlebih dahulu perbedaan tekanan aliran udara pada sisi *inlet duct fan* (diasumsikan sama dengan tekanan atmosfer 1 atm atau 101,325 kPa) dengan sisi dalam *duct* ( $\pm 10$  cm dari batas *inlet duct*). Pengukuran tekanan ini menggunakan tabung pitot (*pitot tube*) yang dihubungkan dengan manometer miring yang berisi fluida dengan *specific gravity* (*sg*) 0,784.

Perbedaan tinggi permukaan fluida dikonversi sebagai perbedaan tekanan aliran udara. Dengan menggunakan persamaan empiris yang telah dihasilkan dari pengujian oleh Wisnu Harviyanto [12] dapat ditentukan besar laju aliran udara dalam satuan *cfm.*, yang dinyatakan dalam persamaan :

$$y = -176714X^2 + 10281X + 12,299 \quad (11)$$

dengan  $y = m_a$  dalam *cfm* dan

$$x = \Delta y \quad (\text{selisih ketinggian permukaan fluida pada termometer miring dalam satuan inch})$$

atau dapat juga disusun menjadi:

$$m_a = -176714\Delta y^2 + 10281\Delta y + 12,299 \quad (12)$$

Dengan catatan formulasi tersebut berlaku untuk pengukuran dengan menggunakan manometer miring yang fluidanya adalah *red gage oil* dengan *Sg* 0,826.

Pengujian dilakukan untuk 4 buah variasi kondisi. Pada setiap variasi dilakukan 3 kali pengambilan data dimana untuk setiap pengambilan data dibaca 20

buah data dengan selang waktu antara data pertama dan data selanjutnya adalah 30 detik. Semua data pada setiap pengambilan (pengujian) masing-masing disimpan langsung dalam suatu *FILE*. Variasi pengujian adalah:

1. kecepatan aliran udara maksimum (sesuai dengan kemampuan fan) : *FILE* NORMAL1, NORMAL2, dan NORMAL3
2. kecepatan aliran udara sedang: *FILE* SEDANG1, SEDANG2, dan SEDANG3
3. kecepatan aliran udara rendah: *FILE* LAMBAT1, LAMBAT2, dan LAMBAT3
4. pemanasan awal terhadap udara masuk: *FILE* RHLOW1, RHLOW2, dan RHLOW3.

#### 4. Analisa

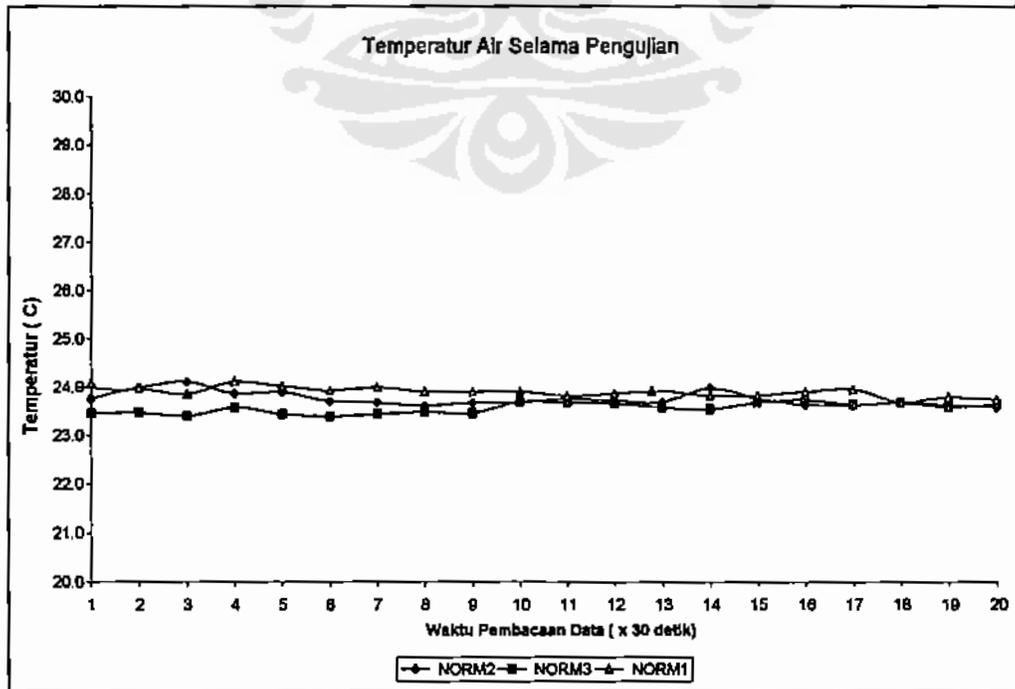
##### 4.1. Variasi Kecepatan Putaran Fan

Pengujian dilakukan pada 3 tingkat kecepatan dengan mengatur suplai tegangan listrik pada motor penggerak fan. Dari hasil perhitungan bagian 4.2 tiga tingkat variasi kecepatan itu menghasilkan jumlah debit udara yang berbeda yaitu

70,05 l/s untuk kecepatan maksimum, 43,60 l/s untuk kecepatan sedang dan 21,06 l/s untuk variasi kecepatan lambat. Semua pengujian menghasilkan penurunan temperatur DB udara keluar yaitu rata-rata 4.6 °C, 5.0 °C, dan 5.0 °C masing-masing untuk variasi kecepatan udara maksimum, sedang dan lambat. Sedangkan temperatur WB udara pada ketiga posisi pengukuran (inlet fan, inlet media evaporatif, dan outlet media evaporatif) relatif konstan. (Tabel 1)

Penurunan temperatur DB ini disebabkan oleh proses pendinginan sensibel (sensible cooling) yang terjadi akibat aliran kalor dari udara yang suhunya lebih tinggi ke lapisan permukaan butiran-butiran air pada media evaporatif. Sedangkan pembacaan data selama pengujian menunjukkan kecenderungan temperatur air konstan pada nilai tertentu, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.

Tabel 2. Menunjukkan penurunan temperatur bola kering dan penambahan kandungan uap air udara keluar pada setiap pengambilan data untuk ketiga variasi kecepatan aliran udara.



Gambar 6. Kecenderungan kestabilan temperatur air selama pengujian pada variasi kecepatan putaran fan maksimum ( $m_g/m_w = 4,77$ )

Tabel 1. Laju aliran (debit) udara pada setiap variasi (Debit air yang membasahi media evaporatif 14,7 l/s)

Jenis Variasi Kecepatan udara	Laju aliran Fan, $m_a$ (liter/s)	Rasio Debit Udara dengan Air, $m_a/m_w$
Kecepatan maksimum	70,05	4,77
Kecepatan sedang	43,60	2,97
Kecepatan rendah	21,06	1,43

Tabel 2. Perubahan nilai besaran parameter udara basah pada inlet fan dan outlet media vaporatif pada setiap variasi kecepatan udara

No	Nama File	Penurunan DB (C) (t3-t2)	Penambahan Kandungan uap air (gr air/kg udara) (w3-w2)	Perubahan Kelembaban Relatif (%) (RH3-RH2)	Perubahan Entalpi udara (KJ/kg) (h3-h2)	Efektivitas
<b>variasi kecepatan udara maksimum</b>						
1	NORMAL1	3.8	2.31	28.84	1.92	85.0
2	NORMAL2	4.7	1.75	30.83	-0.45	99.1
3	NORMAL3	5.3	1.81	33.30	-0.91	101.0
	rata-rata	4.6	1.96	30.99	0.18	95.1
<b>variasi kecepatan udara sedang</b>						
4	SEDANG1	4.8	2.22	32.20	0.67	93.5
5	SEDANG2	5.1	2.23	33.53	0.40	94.8
6	SEDANG3	5.2	2.20	33.99	0.21	95.8
	rata-rata	5.0	2.22	33.24	0.42	94.7
<b>variasi kecepatan udara lambat</b>						
7	LAMBAT1	4.7	2.16	31.36	0.65	93.8
8	LAMBAT2	5.1	2.17	33.25	0.26	95.6
9	LAMBAT3	5.2	2.09	33.49	-0.07	97.0
	rata-rata	5.0	2.14	32.70	0.28	95.6

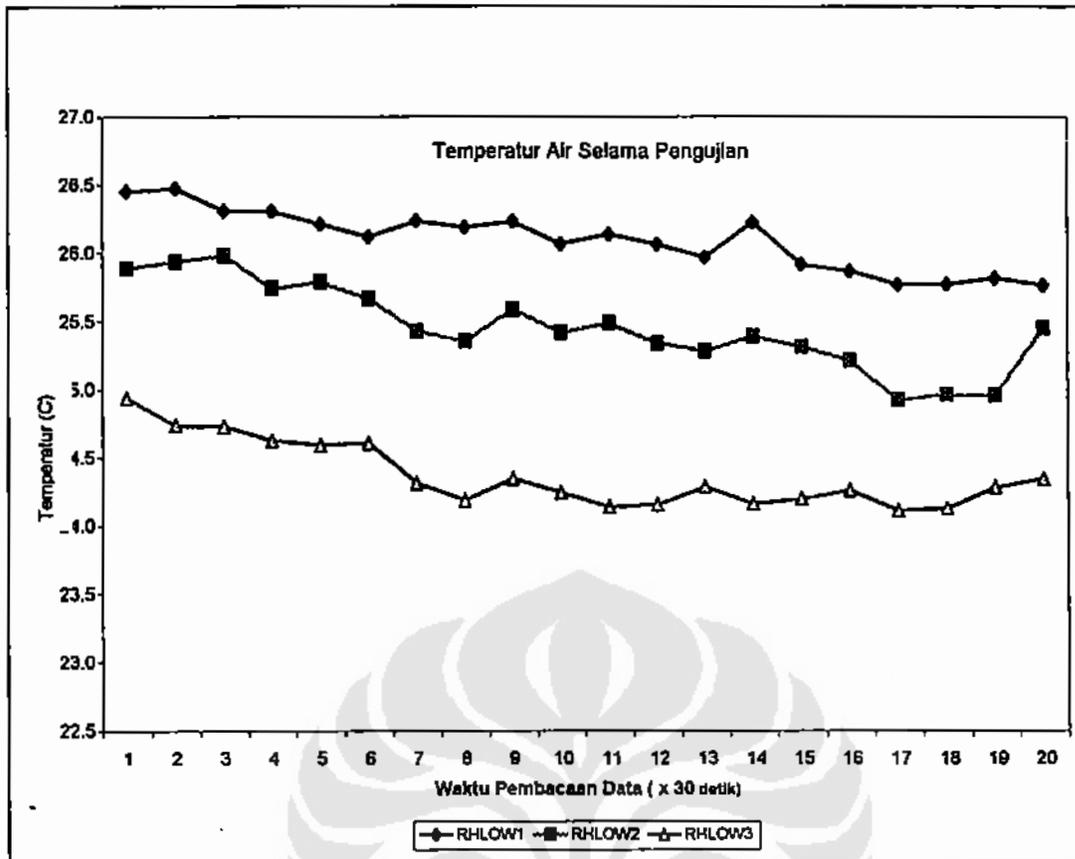
#### 4.2 Variasi Pemanasan Awal Terhadap Udara

Hasil pengujian ini dapat dilihat pada gambar 7. Pemanasan awal terhadap udara akan menaikkan temperatur bola basah dan temperatur bola kering udara. Pada pengujian ini temperatur bola kering udara dapat dinaikkan hingga 40 °C dan temperatur bola basah udara adalah 25 °C. Perubahan ini menjadikan kelembaban relatif udara masuk sekitar 30 %. Sedangkan nilai rasio kelembaban udara tidak terlalu signifikan perbedaannya bila dibandingkan dengan kondisi udara tanpa pemanasan (pengujian pada variasi kecepatan udara).

Pada pengujian ini deviasi perubahan temperatur air selama pengujian (10 menit) relatif lebih besar bila dibandingkan dengan pengujian tanpa pemanasan awal terhadap udara yaitu hampir mendekati 1 °C. Tetapi tidak terjadi kecenderungan penurunan atau

pun kenaikan temperatur air selama pengujian. Sehingga temperatur air selama pengujian bisa dikatakan relatif konstan.

Pada tabel 3 dapat dilihat perubahan parameter yang terjadi akibat variasi pemanasan udara. Rata-rata penurunan temperatur bola kering udara keluar cukup besar yaitu 8,0 °C. Proses ini sama dengan pengujian tanpa pemanasan awal udara yaitu pendinginan aliran udara yang temperaturnya lebih tinggi oleh butiran-butiran air. Temperatur air yang konstan dan penambahan nilai rasio kelembaban udara menunjukkan bahwasanya kalor dari udara digunakan untuk menguapkan lapisan permukaan butiran air menjadi uap air. Penurunan temperatur bola kering yang tinggi ini diikuti oleh penambahan kandungan uap air dalam udara juga tinggi yaitu 2,61 gr air/kg udara. Pada kondisi ini, *evaporative cooler* sangat efektif untuk digunakan sebagai *humidifier*. (Tabel 3)



Gambar 7. Kecenderungan kestabilan temperatur air selama pengujian pada variasi pemanasan awal terhadap udara

Tabel 3. Perubahan nilai besaran parameter udara basah pada inlet fan dan outlet media evaporatif pada variasi pemanasan udara dan temperatur air normal

No.	Nama File	Penurunan DB (C) (t3-t2)	Penambahan Kandungan uap air (gr air/kg udara) (w3-w2)	Perubahan Kelembaban Relatif (%) (RH3-RH2)	Perubahan Entalpi udara (kJ/kg) (h3-h2)	Efektivitas
1	RHLOW1	7.4	2.56	41.48	-1.20	101.0
2	RHLOW2	7.9	2.68	43.52	-1.33	101.4
3	RHLOW3	8.7	2.57	46.08	-2.43	104.1
	Rata-rata	8.0	2.61	43.69	-1.65	102.2

Penambahan kelembaban relatif udara juga jauh lebih tinggi yaitu 43,69 %. Ada pun yang menyebabkan penambahan kandungan uap air udara keluar pada variasi ini lebih besar adalah karena sifat udara yang memuai akibat pemanasan pada sisi inlet sedangkan jumlah kandungan uap airnya tidak berubah sehingga pada saat terjadinya kontak langsung dengan butiran air menyebabkan jumlah uap air yang mampu diserap udara jauh lebih besar.

### 5. Kesimpulan

1. Udara yang dialirkan pada media evaporatif menghasilkan penurunan temperatur bola kering dan penambahan kandungan uap air. Sedangkan nilai kelembaban relatif udara juga bertambah seiring dengan penurunan temperatur DB
2. Pada RH yang rendah penambahan kandungan uap air lebih tinggi

3. Semakin kecil rasio semprotan air penurunan temperatur DB juga semakin kecil.

### Nomenklatur

- $A_v$  = luas permukaan butiran air,  $m^2/m^3$ .  
 $C_{14}$  = 6,54  
 $C_{15}$  = 14,526  
 $C_{16}$  = 0,7389  
 $C_{17}$  = 0,09486  
 $C_{18}$  = 0,4569  
 $C_{p_a}$  = kalor jenis, kJ/kg K.  
 $e$  = efisiensi  
 $g$  = gravitasi,  $m/s^2$ .  
 $h$  = entalpi spesifik, kJ/kg.  
 $h^*$  = entalpi spesifik udara basah saturasi pada temperatur bola basah, kJ/kg.  
 $h^*_w$  = entalpi spesifik dari air terkondensasi pada temperatur bola basah, kJ/kg.  
 $h_c$  = koefisien perpindahan kalor konveksi,  $kJ/m^2 s K$ .  
 $h_D$  = koefisien perpindahan massa,  $kg/m^2 s$ .  
 $h_{fgw}$  = kalor laten spesifik evaporasi air, kJ/kg.  
 $h_w$  = entalpi spesifik uap air, kJ/kg.  
 $Le$  = lewis number.  
 $m_a$  = massa udara kering, kg.  
 $m_w$  = massa uap air, kg.  
 $p$  = tekanan absolut campuran, Pa.  
 $p_a$  = tekanan parsial udara kering, Pa.  
 $p_w$  = tekanan parsial uap air, Pa.  
 $p_{ws}$  = tekanan uap air jenuh, Pa.  
 $RH$  = kelembaban relatif  
 $Sg$  = *specific gravity*.  
 $T$  = temperatur absolut, K.  
 $t$  = temperatur bola kering, °C.  
 $t^*$  = temperatur bola basah, °C.  
 $t_d$  = temperatur titik embun, °C.  
 $t_w$  = temperatur air, °C.  
 $v$  = kecepatan, m/s.  
 $V$  = volume,  $m^3$ .  
 $W$  = rasio kelembaban, kg uap air/kg udara kering.  
 $W^*_s$  = rasio humiditas saturasi pada temperatur bola basah, kJ/kg.  
 $W_{s,w}$  = rasio kelembaban pada keadaan kesetimbangan dengan air,  $kg_w/kg_a$ .  
 $Z$  = faktor koordinat ruang.  
 $\alpha$  =  $\ln(p_w)$  dan  
 $p_w$  = tekanan parsial uap air

$$p_w = \frac{p.W}{0,62198 + W}$$

$\mu$  = derajat kejenuhan..

### Daftar Pustaka

1. Watt, J. R., *Evaporative Air Conditioning Handbook*, Chapman and Hall, New York, 1986.
2. Howell, R.H, Sauer Jr, H.J, Coad, William J, *Principles of Heating Ventilating & Air Conditioning*, ASHRAE Inc., Atlanta, 1998.
3. ASHRAE, *ASHRAE Handbook: 1999 ASHRAE Applications Handbook (SI)*, ASHRAE Inc., Atlanta, 1999.
4. Threkeld, J.L, *Thermal Environmental Engineering*, 2<sup>nd</sup> ed, Prentice Hall, New Jersey, 1970
5. ASHRAE, *ASHRAE Handbook: 1997 ASHRAE Fundamental Handbook (SI)*, ASHRAE Inc., Atlanta, 1997.
6. ASHRAE, *ASHRAE Handbook: 1983 ASHRAE Equipment Handbook (SI)*, ASHRAE Inc., Atlanta, 1983.
7. Berman, L.D, *Evaporative Cooling of Circulating Water*, Pegamon Press, 1961.
8. Alhamid, M.Idrus, *Packed Bed and Rotary Dessicant Dehumidifier in Air Conditioning System*, Katholieke Universiteit Leuven, Heverlee, 1990.
9. Hewlett Packard, *Data Acquisition Control System/ Model 3054A (85A) Introductory Users Guide: Manual Part No. 03054-90206*, Hewlett Packard Company, 1980.
10. Hewlett Packard, *Data Acquisition Control System Library: Installation Verification Operating and Programming*, vol IA, Hewlett Packard Company, 1980.
11. Hewlett Packard, *Application Note 290: Practical Temperature Measurements*, Hewlett Packard Company, 1980.
12. Harviyanto, Wisnu, *Modifikasi Alat Uji Kebocoran Ducting (Duct Leakage Tester)*, Skripsi, Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 1999.