

# Performansi Pendinginan Kombinasi Sistem *Direct* Dan *Indirect Evaporative Cooling*

I Made Yudi Darmawan, Hendra Wijaksana, dan N.Suarnadwipa  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

## Abstrak

Pertumbuhan jumlah penduduk yang demikian pesat, mendorong meningkatnya pembangunan gedung-gedung apartemen untuk tempat tinggal terutama di kota-kota besar. Pembangunan gedung apartemen dan perkantoran yang pesat ini, diikuti dengan meningkatnya kebutuhan akan input energi listrik terutama untuk memenuhi kebutuhan penggunaan air conditioning (AC) berbasis kompresor. Dew Point Evaporative Cooler merupakan sebuah mesin pendingin yang menggunakan prinsip evaporative cooling. Pendinginan evaporative ini secara teknik disebut dengan pendinginan adiabatik yang merupakan proses pengkondisian udara yang dilakukan dengan membiarkan kontak langsung antara udara dengan uap air sehingga terjadi perubahan dari panas sensibel menjadi panas laten. Variabel yang diukur pada penelitian ini adalah variasi kelembaban dengan Kecepatan aliran udara 4,8 m/s, 9,5 m/s, dan 11,3 m/s. Cooling capacity performansi yang tertinggi pada system kombinasi direct dan indirect evaporative cooling terjadi pada kecepatan aliran udara tertinggi  $V_3 = 11.3 \text{ m/s}$ . Dimana besar Cooling Effectiveness = 2,294, Dry Bulb temperature Drop = 6,425°C, Cooling Capacity = 3,6 kW, ER = 4,1, dan nilai total rata-rata kelembaban udara ( $\Delta RH$ ) pada kecepatan aliran udara  $V_1 = 61,15\%$ ,  $V_2 = 83,025\%$ , dan  $V_3 = 91,325\%$ .

Kata Kunci : Dew Point Evaporative Cooling, Variasi Kelembaban, Temperatur

## Abstract

The rapid population growth has prompted the construction of apartment buildings for residence, especially in big cities. The rapid development of apartment and office buildings was followed by a search for the need for electrical energy input, especially to meet the need for compressor-based air conditioning (AC). Dew Point Evaporative Cooler is a cooling machine that uses the principle of evaporative cooling. This evaporative cooling is technically called adiabatic cooling which is an air conditioning process that is carried out by allowing direct contact between air and air vapor so that it occurs from sensible heat to latent heat. The variables measured in this study were variations in humidity with air flow velocities of 4.8 m/s, 9.5 m/s, and 11.3 m/s. The highest cooling capacity performance in the combined direct and indirect evaporative cooling system occurs at the highest air flow velocity  $V_3 = 11.3 \text{ m/s}$ . Where the cooling efficiency = 2.294, the temperature drop in dry bulb = 6.425°C, the cooling effectiveness = 3.6 kW, ER = 4.1, and the value The total average air humidity ( $\Delta RH$ ) at air flow velocity  $V_1 = 61.15\%$ ,  $V_2 = 83.025\%$ , and  $V_3 = 91.325\%$ .

Keywords: Dew Point Evaporative Cooling, Humidity Variation, Temperature

## 1. Pendahuluan

Pertumbuhan jumlah penduduk yang demikian pesat, mendorong meningkatnya pembangunan gedung-gedung apartemen untuk tempat tinggal terutama di kota-kota besar. Pembangunan gedung apartemen dan perkantoran yang pesat ini, diikuti dengan meningkatnya kebutuhan akan input energi listrik terutama untuk memenuhi kebutuhan penggunaan air conditioning (AC) berbasis kompresor. Hampir 60% energi listrik pada gedung dan apartemen, digunakan untuk penggunaan AC, untuk mendapatkan kenyamanan udara ruangan, yakni 22°C- 25°C dengan kelembaban relatif udara (Relative Humidity) 40%-60% [1] dimana temperature dan kelembaban udara rata-rata di Indonesia cukup tinggi yakni sekitar 30°C – 35°C dan dengan tingkat kelembaban relative antara 70 – 80% evaporative cooling (DEC) dan indirect evaporative cooling (IEC).

## 2. Dasar Teori

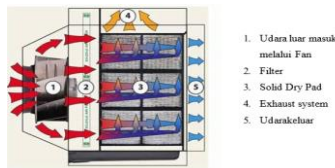
### 2.1. Mengetahui Dew Point Evaporative Cooler

Dew Point Evaporative Cooler merupakan sebuah mesin pendingin yang menggunakan prinsip evaporative cooling. Pendinginan evaporative ini secara teknik disebut dengan pendinginan adiabatic yang merupakan proses pengkondisian udara yang dilakukan dengan membiarkan kontak langsung antara udara dengan uap air sehingga terjadi perubahan dari panas sensibel menjadi panas laten.

Syarat agar proses pendinginan dew point evaporative dapat berlangsung dengan baik adalah kondisi lingkungan yang panas dan kering, yaitu lingkungan yang memiliki suhu tinggi dan temperatur bola basah yang relatif rendah. Dibandingkan dengan sistem pendingin refrigerasi, pendingin dew point evaporative jauh lebih murah. Biaya awal yang dikeluarkan untuk membuat sebuah sistem pendingin evaporative hanya sekitar satu per empat kali dari biaya awal sebuah system pendingin refrigerasi untuk ukuran yang sama.

## 2.2. Desain Dew Point Evaporative Cooling

*Dew point evaporative cooling* merupakan titik embun udara artinya suhu dimana udara mulai mengembun menimbulkan titik-titik air. *Supply Fan* mengalirkan udara luar (out door air) hingga bersentuhan dengan sisi permukaan *pads* yang dingin, karena berisikan *dry ice (secondary air)* yang suhunya relative rendah. Setelah itu terjadi perpindahan panas antara udara yang mengalir di luar *fan* dengan udara yang berada didalam melalui permukaan *pad*, Udara yang didalam suhunya akan menjadi naik dan pada saat bersamaan pada sisi lain *pads* bersentuhan dengan *solid dry tube* sehingga terjadi proses *dew point evaporative cooling*.



Gambar 1. Indirect Evaporative Cooler

## 2.3. Performansi Pendinginan Evaporative

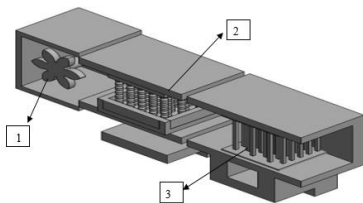
Penurunan temperatur bola kering udara ( $\Delta T_{db}$ ) dapat didefinisikan sebagai selisih antara temperature bola kering udara memasuki sistem dengan temperatur bola kering udara keluar sistem.

Laju pendinginan merupakan kecepatan penurunan temperatur oleh system pendingin terhadap ruangan persatuan waktu atau selang waktu tertentu. Laju pendinginan ruangan ( $qr$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

## 3. Metode penelitian

### 3.1. Pemodelan Pengujian

Untuk mempermudah pengujian *direct evaporative cooling* dan *indirect evaporative cooling* berbasis *Staggered solid dry pad* maka dibuat pemodelan alat seperti gambar berikut ini :



Gambar 2. Desain Pengujian Dew Point Cooling System

Keterangan Gambar

1. Fan dengan pengaturan regavolt
2. Direct Evaporative Cooling
3. Staggered Solid Dry Pad

### 3.2. Prosedur Penelitian

Pengujian DEC dan IEC system ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan aliran udara yang masuk pada pads. Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

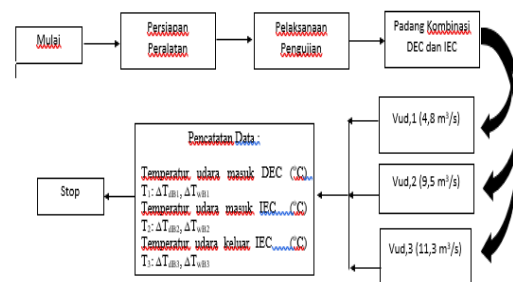
- a. Persiapkan peralatan dan perlengkapan yang

akan digunakan.

- b. Atur putaran fan pada kecepatan udara  $V_{ud,1} = 4.8 \text{ m/s}$ .
- c. Pasang DEC dan IEC.
- d. Setelah sistem siap, hidupkan fan, lakukan pencatatan temperature bola kering dan bola basah pada sisi masuk dan keluar DEC, dan IEC, setiap 15 menit dalam rentang waktu selama 60 menit.
- e. Lakukan pengulangan b-d untuk kecepatan aliran udara  $V_{ud,2}$  dan  $V_{ud,3}$
- f. Analisa hasil pengujian.

### 3.3. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

## 4. Hasil Dan Pembahasan

### 4.1. Data Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan, diambil tiga (3) variasi kecepatan udara yaitu:

$$V1 = 4,8 \text{ m/s}$$

$$V2 = 9,5 \text{ m/s}$$

$$V3 = 11,3 \text{ m/s}$$

### 4.2. Data Temperatur

#### 4.2.1. Pengujian SDP Variasi Kecepatan Aliran Udara 4,8 m/s

Tabel 1. Data Performansi SDP Variasi Kecepatan Aliran dara 4,8m/s

Time /Second	T1(°C)		T2(°C)		T3(°C)	
	TdB1	TwB1	TdB2	TwB2	TdB3	TwB3
15 Menit	30	27,5	28,5	25,3	21,8	17,6
30 Menit	30	27,5	28,6	25,4	24,7	19,5
45 Menit	30	27,5	29	25,6	26,2	21,5
60 Menit	30	27,5	29	25,5	26,5	22,9
Rata-Rata	30	27,5	28,775	25,375	24,8	20,375

#### 4.2.2. Pengujian SDP Variasi Kecepatan Aliran Udara 9,8 m/s

Tabel 2. Data Performansi SDP Variasi Kecepatan Aliran dara 9,5m/s

Time /Second	T1(0C)		T2(0C)		T3(0C)	
	TdB1	TwB1	TdB2	TwB2	TdB2	TwB2
15 Menit	30	27	28,9	25,3	22,3	20,3

30 Menit	30	27	29	25,5	24,8	23
45 Menit	30	27	29,1	25,6	26,7	24,2
60 Menit	30	27	29,1	25,6	27,2	24,9
Rata-Rata	30	27	29,025	25,5	25,25	23,1

#### 4.2.3. Pengujian SDP Variasi Kecepatan Udara 11,3 m/s

Tabel 3. Data Performansi SDP Variasi Kecepatan Aliran dara 11,3m/s

Time /Second	T1(OC)		T2(OC)		T3(OC)	
	TdB1	TwB1	TdB2	TwB2	TdB3	TwB3
15 Menit	29,8	27	27,9	24	20,3	20,4
30 Menit	29,8	27	28.1	24	23,1	22,1
45 Menit	29,8	27	28,2	24,1	24,5	23,1
60 Menit	29,8	27	28,2	24,3	25,6	23,6
Rata-Rata	29,8	27	28,1	24,1	23,375	22,3

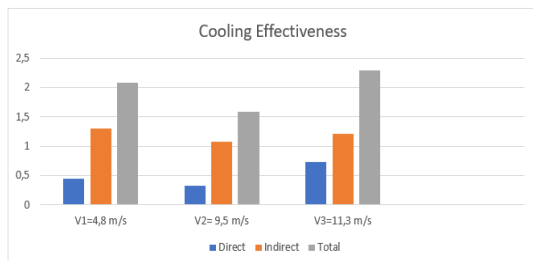
### 4.3. Performansi Pendingin Evaporative Cooling

#### 4.3.1. Cooling Effectiveness

Efektivitas ini dapat didefinisikan sebagai penurunan temperatur bola kering yang dihasilkan dibagi dengan selisih temperatur bola kering dan temperatur bola basah udara yang memasuki system [2].

$$\epsilon = \frac{T_{dB,1} - T_{dB,4}}{T_{dB,1} - T_{wB,1}} \quad (1)$$

Gambar diagram menunjukkan suhu temperatur dari direct ke indirect mengalami penurunan temperature, dan hasil akhir dari direct dan indirect juga mengalami penurunan temperatur.



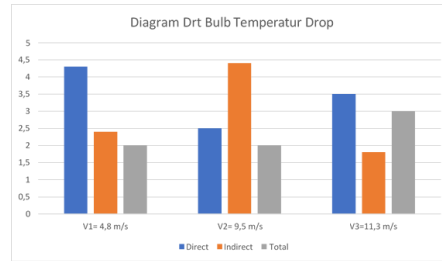
Gambar 4. Diagram Cooling Effectiveness

#### 4.3.2. Dry Bulb Temperature Drop

Penurunan temperatur bola kering udara ( $\Delta T_{dB}$ ) dapat didefinisikan sebagai selisih antara temperatur bola kering udara memasuki

sistem dengan temperatur bola kering udara keluar system [3].

$$\Delta T_{dB} = T_{dB,1} - T_{dB,4} \quad (2)$$



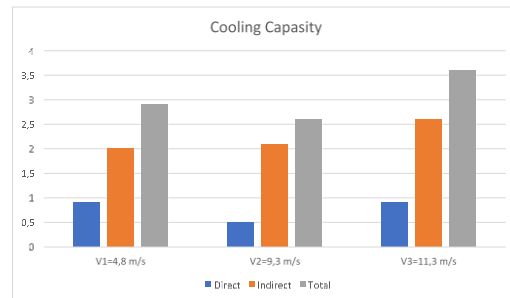
Gambar 5. Diagram Dry Bulb Temperatur Drop

Gambar diagram diatas dapat dilihat dari nilai hasil diagram direct selalu lebih besar dari nilai hasil diagram total.

#### 4.3.3. Cooling Capacity

Kapasitas pendinginan adalah mengukur kemampuan system pendinginan untuk menghilangkan panas. Kapasitas pendinginan ruangan (qs) dapat dihitung dengan persamaan. Untuk menentukan kapasitas pendinginan *sensible*, dapat dihitung dengan persamaan berikut dalam satuan (kW) [4].

$$qs = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (3)$$



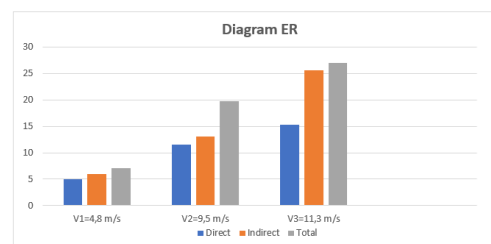
Gambar 6. Diagram Cooling Capacity

Gambar diagram diatas dapat dilihat nilai cooling capacity mengalami peningkatan dari direct ke indirect, dan nilai totalnya juga mengalami peningkatan dalam kapasitas pendinginan.

#### 4.3.4. Energy Ratio (ER)

Energy ratio (EER) merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan sensibel dengan jumlah konsumsi energi pendinginan [5].

$$EER = \frac{Q \rho C_p (T_{dB,i} - T_{dB,o})}{P_t} \quad (4)$$



Gambar 7. Diagram ER

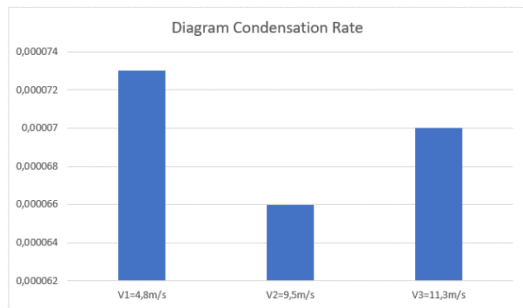
Gambar diagram di diatas dapat dilihat jumlah komsumsi energi mengalami peningkatan dari direct ke indirect dan jumlah total juga mengalami peningkatan ER.

**4.3.5. Condensation Rate**

**Tabel 4. Penyerapan Massa Kondesat**

Kecepatan Aliran Udara (m/s)	Waktu (menit)	Massa Awal (kg)	Massa Akhir (kg)
4,8 m/s	60	0,075	0,340
9,5 m/s	60	0,075	0,316
11,3 m/s	60	0,075	0,331

Pengembunan atau kondensasi merupakan proses perubahan molekul di dalam keadaan uap (contohnya uap air) yang dengan spontan menjadi cair (contohnya air). Besarnya laju pengembunan (kondensasi) yang terjadi dapat dihitung dengan perbedaan berat kapas sebelum pengujian ( $ma_0$ ) dengan berat kapas sesudah pengujian ( $ma$ ).



**Gambar 8. Diagram Condensation Rate**

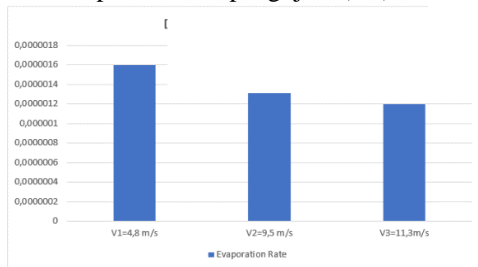
Gambar diagram diatas dapat dilihat bahwa condensation rate V1 ke V3 mengalami penurunan kondensat.

**4.3.6. Evaporative Rate**

**Tabel 5. Evaporation Rate**

Kecepatan Udara (m/s)	Waktu (menit)	Massa Awal (Kg)	Massa Akhir (kg)
4,8	60	10,9	9,9
9,5	60	11,2	10,7
11,3	60	15,9	11,3

Penguapan atau evaporation merupakan proses perubahan molekul dari fase zat cair saat berubah menjadi fase gas. Besarnya laju penguapan (evaporation) yang terjadi dapat dihitung dengan perbedaan berat kapas sebelum pengujian ( $ma_0$ ) dengan berat kapas sesudah pengujian ( $ma$ ).



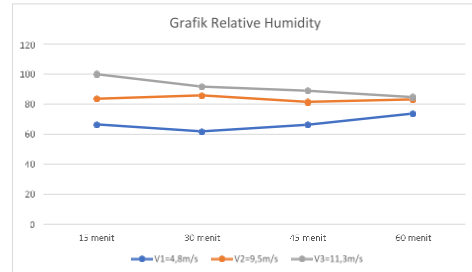
**Gambar 9. Diagram Evaporation Rate**

Gambar diagram diatas dapat dilihat bahwan evaporative rate yang terjadi dai V1 ke V3 mengalami penurunan penguapan yang terjadi

dikarakan kecepatan aliran udara yang mengalami peningkatan.

**4.3.7. Relative Himidity (RH)**

Kelembaban Udara (RH) merupakan kadar uap air yang ada di udara atau rasio antara tekanan uap air actual pada temperatur tertentu dengan tekanan uap air jenuh pada temperatur tersebut



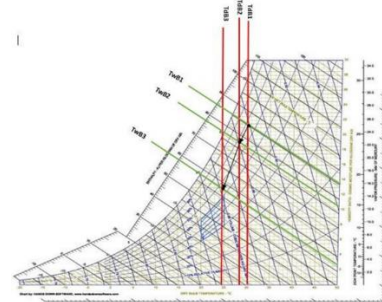
**Gambar 10. Grafik Relative Humidity**

Gambar grafik diatas menunjukkan hasil dari lama pengukuran yang terjadi dari 15, sampe 60 menit.

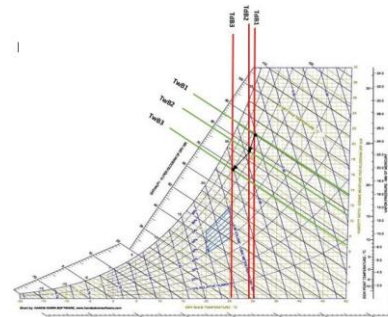
waktu	V1 = 4,8 m/s	V2 = 9,5 m/s	V3 = 11,3 m/s
15 Menit	66,5%	83,6%	100%
30 Menit	61,9%	85,9%	91,7%
45 Menit	66,3%	81,5%	88,9%
60 Menit	73,8%	83,1%	84,7%
Rata-Rata	67,15%	83,025%	91,325%

Tabel diatas menunjukkan hasil pengukuran yang terjadi dari 15 menit sampe 60 menit.

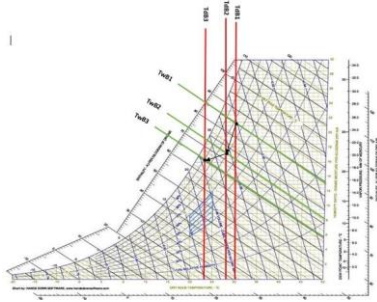
**4.3.8. Grafik Psychometri**



**Gambar 11. Grafik Psychmetrik (a)**



**Gambar 12. Grafik Psychmetrik (b)**



**Gambar 13. Grafik Psychometrik (c)**

Grafik Psychrometri pada Kecepatan Aliran udara 4,8 m/s, 9,8m/s, dan 11,3m/s mengalami proses yang sama yaitu menunjukkan udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi, kemudian pendinginan dan dehumidifikasi.

## 5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari pengujian eksperimental skala laboratorium pada performansi pendinginan kombinasi sistem *direct* dan *indirect evaporative*.

1. Performansi pendinginan tertinggi didapat pada  $V_3=11.3\text{m/s}$  dimana besar Cooling Effectiveness= 2,294 , Dry Bilb temperature Drop= 6,425°C , Cooling Capacity= 3,6 kW , ER= 27 , sedangkan untuk Condensation Rate = 0,000073  $\text{m}^3/\text{s}$  ,dan Evaporative Rate= 0,0000016  $\text{m}^3/\text{s}$  yang tertinggi terjadi di  $V_1=4,8$  m/s.
2. Selisih kelembaban udara ( $\Delta\text{RH}$ ) pada kecepatan aliran udara yang terjadi pada  $V_1= 15,5\%$ ,  $V_2=7,9\%$  dan selisih kelembaban udara di  $V_3=15,5\%$ .

## Daftar Pustaka

- [1] ASHRAE standart 62-1989, 1969, ASHRAE, Washington DC,
- [2] Harris, Norman C., 1991, *Modern Air Conditioning Practice*, McGraw-Hill, inc.
- [3] Putra Toni Dwi, dan Finahari Nurida, 2011, *Pengaruh Perubahan Temperatur Media Pendingin Pada Direct Evaporative Cooler*, Journal Proton, Vol. 3, No. 1.
- [4] Holman J.P., 1986, *Heat Transfer*, Amerika Serikat: Erlangga.
- [5] Effatnejad R, Salehian A.B, 2009, *Standard of Energy Consumption And Energy Labeling In Evaporative Air Cooler in Iran*, Jurnal IJTPE, Vol.1, No. 1.



I Made Yudi Darmawan

Menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2021.

Topik penelitian Performansi Pendinginan Kombinasi Sistem *Direct dan Indirect Evaporative Cooling*.