

Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Udara Pada Evaporative Cooling Kombinasi Indirect Dan Direct

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

Abstrak

Negara kita adalah negara tropis dengan suhu udara rata-rata sekitar 30 – 35°C dan dengan tingkat kelembaban relative antara 70 – 80% , sedangkan standar kenyamanan yang dibutuhkan adalah 22°C - 25°C dengan kelembaban relatif udara (Relative Humidity) 40%-60%. Dengan demikian kebutuhan akan energi pendinginan demikian besar untuk memenuhi standar kenyamanan bagi bangunan gedung dan apartemen , dimana hampir 60% dari energi listrik yang tersedia digunakan untuk air conditioning (AC). Tingginya tingkat konsumsi energi listrik untuk AC ini, telah mendorong para peneliti untuk mengembangkan sistim pendinginan yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan. Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh variasi kecepatan aliran udara terhadap performansi pendingin kombinasi indirect evaporative cooling (IEC) dan direct evaporative cooling (DEC). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis performansi pendingin kombinasi indirect evaporative cooling dan direct evaporative cooling terhadap variasi kecepatan aliran udara. Dengan kesimpulan cooling capacity pada system kombinasi Indirect dan Direct evaporative cooling terjadi pada kecepatan aliran udara $V_1 = 4,8$ m/s dimana besar Cooling Efficiency= 2,1 , Dry Bulb temperature Drop= 4,2°C, Cooling Capacity= 0,996 kW, ER= 0,962 , Condensation Rate= 0,259 m³/s ,dan Evaporative Rate= 0,0039 m³/jam. Dan nilai Rata-rata kelembaban udara (ΔRH) pada kecepatan aliran udara $V_1 = 92,3\%$, $V_2 = 94,7\%$, dan $V_3 = 76,6\%$.

Kata kunci: Pendingin, Kelembaban Udara, Disain Alat, dan Kombinasi pendinginan Indirect dan Direct.

Abstract

Our country is a tropical country with an average air temperature of around 30-35°C and with a relative humidity level between 70-80%, while the standard of comfort required is 22 °C - 25 °C with a relative humidity of 40% - 60%. Thus the need for cooling energy is so great to meet comfort standards for buildings and apartments, where nearly 60% of the available electrical energy is used for air conditioning (AC). The high level of electrical energy consumption for air conditioning has prompted researchers to develop a cooling system that is more energy efficient and environmentally friendly. The problem discussed in this study is how the effect of variations in air flow velocity on the cooling performance of the combination of indirect evaporative cooling (IEC) and direct evaporative cooling (DEC). The purpose of this study was to analyze the cooling performance of a combination of indirect evaporative cooling and direct evaporative cooling on variations in air flow velocity. With the conclusion that the highest performance cooling capacity in the combination system of Indirect and Direct evaporative cooling occurs at the highest air flow velocity $V_1 = 4.8$ m / s where the large Cooling Efficiency = 2.1, Dry Bulb temperature Drop = 4.2°C, Cooling Capacity = 0.996 kW, ER = 0.962, Condensation Rate = 0.259 m³ / s, and Evaporative Rate = 0.0039 m³ / hour. And the average air humidity (ΔRH) value at the air flow velocity $V_1 = 92.3\%$, $V_2 = 94.7\%$, and $V_3 = 76.6\%$.

Keywords: Cooling, Air Humidity, Tool Design, and Combination of Indirect and Direct cooling.

1. Pendahuluan

Peningkatan yang pesat pada berdirinya bangunan-bangunan gedung besar dan apartemen, memicu peningkatan penggunaan energi bahan bakar fosil yang kian meningkat tajam. Negara kita adalah negara tropis dengan suhu udara rata-rata sekitar 30 – 35°C dan dengan tingkat kelembaban relative antara 70 – 80% , sedangkan standar kenyamanan yang dibutuhkan adalah 22°C - 25°C dengan kelembaban relatif udara (Relative Humidity) 40%-60%. (ASHRAE standart 62-1989 ASHRAE, Washington DC (1989))[1].

Dengan demikian kebutuhan akan energi pendinginan demikian besar untuk memenuhi standar kenyamanan bagi bangunan gedung dan apartemen, dimana hampir 60% dari energi listrik yang tersedia digunakan untuk air conditioning (AC). Tingginya tingkat konsumsi energi listrik untuk AC ini, telah mendorong para peneliti untuk mengembangkan sistim pendinginan yang lebih hemat energi dan

ramah lingkungan. Sistim pendingin yang banyak dikembangkan diantaranya sistim pendingin absorpsi bertenaga surya, sistim pendingin adsorpsi, liquid and solid desiccant cooling system, dan juga sistim pendingin evaporative baik yang direct, indirect evaporative cooling. Perkembangan sistim pendingin evaporative cukup luas, karena sistim ini hanya memerlukan air dan udara sebagai energi penggerak sistim dan memiliki konstruksi yang sederhana. Sistim indirect evaporative cooling (IEC) memiliki kedekatan karakteristik dengan sistim pendingin AC, dalam hal penanganan kandungan uap air udara sebagai beban laten pendinginan. Sistim AC yang berbasis kompresor, menangani beban laten pendinginan ini dengan proses kondensasi uap air udara melalui evaporator, sehingga terjadi penurunan tingkat kelembaban yang cukup signifikan dan udara menjadi dingin dan kering. Sedangkan sistim IEC melakukan pendinginan udara tanpa terjadi penurunan tingkat kelembaban udara, dimana

kandungan uap air (moisture) udara konstan. (Bogdan Porumb et.al, 2016). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sistim IEC akan menghasilkan udara dingin dan moisture konstan (tetap basah untuk di negara kita). Kelemahan yang paling menyolok dari sistim IEC adalah konsumsi air yang begitu tinggi, dimana air digunakan untuk proses penguapan yang menghasilkan efek pendinginan bagi sistim IEC [2].

Batasan masalah yang akan diterapkan dalam penelitian ini adalah:

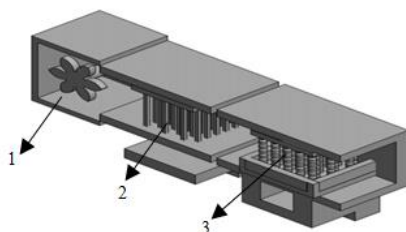
1. Temperatur lingkungan dianggap konstan.
2. Kecepatan aliran udara sepanjang saluran dianggap konstan.
3. Proses perpindahan panas dan massa akibat jumlah dan susunan pipa tidak diperhitungkan.

2. Dasar Teori

Ini merupakan sebuah mesin pendingin yang menggunakan prinsip evaporative cooling. Model pendingin seperti ini biasanya 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. Perpindahan suatu panas sensibel terjadi karena perbedaan suhu dan panas laten terjadi dari perpindahan massa yang dihasilkan dari penguapan sebagian dari air yang bersirkulasi dan temperatur bola kering udara akan menurun dalam proses ini. Apabila proses waktu kontak air dan udara mencukupi, maka udara akan mencapai kondisi saturasi. Apabila kondisi equilibrium tercapai, pengondisian temperatur air turun hingga sama dengan temperatur bola basah udara. Secara umum akan didapat hasil di bahwa temperatur bola basah udara sebelum dan sesudah proses adalah sama, karena proses semacam ini terjadi di garis bola basah (wB) yang konstan [3].

3. Metode Penelitian

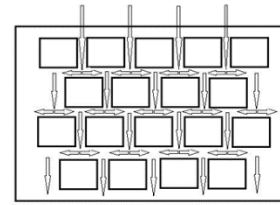
Variabel bebas meliputi variasi kecepatan aliran udara 4.8 m/s, 9.5 m/s dan 11.3 m/s. Variabel terikat meliputi variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas yang dapat digunakan peneliti untuk merumuskan hipotesis, yakni: Peforma sistem pendingin indirect evaporative cooling termasuk didalamnya cooling efficiency, energy efficiency ratio (EER), cooling capacity, dry bulb temperature drop, condensation rate, system efficiency, evaporative.



Gambar 1. Pemodelan Pengujian

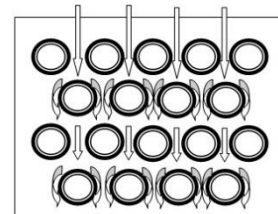
Keterangan gambar:

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



Gambar 2. Indirect Pad

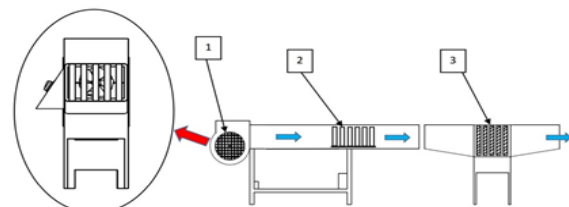
Gambar diatas merupakan rancangan indirect pad yang di susun secara staggered dan akan di isi oleh dry ice dengan pengisian 100%.



Gambar 3. Rancangan Direct Pad

Gambar diatas merupakan rancangan dari direct pad yang di buat dari pipa pvc 1/2 inc.

Cara kerja alat pengujian dimana udara luar akan mengalir memasuki Indirect Evaporative dan Direct Evaporative secara berurutan. Pertama-tama udara akan melewati IEC dimana temperature permukaan pipa yang sangat dingin, T_{ps} ($^{\circ}C$). Udara luar tersebut yang diketahui masih mengandung uap air (moisture) kemudian bila bersentuhan dengan permukaan pipa dengan temperature yang lebih rendah dari temperature bola basah udara luar, maka akan terjadi kondensasi, dimana akan terjadi penurunan kandungan uap air. Udara dingin dan kering yang keluar dari IEC akan di lewatkan pada DEC, dimana akan terjadi proses penguapan air pada permukaan material sumbu kompor, sehingga udara mengalami pendinginan humidifikasi Gambar 1.



Gambar 4. Cara Kerja Alat Pengujian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Temperature

Tabel 1. Peforma Sistem Pendinginan Dengan Kecepatan Aliran Udara 4,8 m/s

Time (Menit)	T1		T2		T3	
	Tdb 1	Twb 1	Tdb 2	Twb 2	Tdb 3	Twb 3
15	29°C	27°C	20,1°C	16,4°C	22,9°C	21,1°C
30 Menit	29°C	27°C	19,9°C	24,7°C	24,5°C	23°C
45 Menit	29°C	27°C	26,8°C	22,2°C	25,5°C	24,2°C
60 Menit	29°C	27°C	27,5°C	23,1°C	26,3°C	24,9°C
Rata-rata	29°C	27°C	23,5°C	21,6°C	24,8°C	23,3°C

Pada Tabel 1. menunjukkan kenaikan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara. Temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara masuk sistem dengan rata-rata 23,5°C mengalami kenaikan temperatur 1,3°C dengan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara keluar sistem dengan rata-rata 24,8 °C.

Tabel 2. Peforma Sistem Pendinginan Dengan Kecepatan Aliran Udara 9,5 m/s

Time	T1		T2		T3	
	Tdb 1	Twb 1	Tdb 2	Twb 2	Tdb 3	Twb 3
15 Menit	29°C	28°C	24,2°C	21,1°C	25,6°C	24,7°C
30 Menit	29°C	28°C	25,8°C	22,3°C	27°C	25,6°C
45 Menit	29°C	28°C	27,1°C	23,3°C	27,6°C	26,2°C
60 Menit	29°C	28°C	27,6°C	23,9°C	27,9°C	26,4°C
Rata-rata	29 °C	28 °C	26,1°C	22,6°C	27 °C	25,7°C

Pada Tabel 2. Menunjukkan kenaikan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara. Temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara masuk sistem dengan rata-rata 26,1°C mengalami kenaikan temperatur sebesar 0,9°C dengan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara keluar sistem dengan rata-rata 27°C.

Tabel 3. Peforma Sistem Pendinginan Dengan Kecepatan Aliran Udara 11,3 m/s

Time	T1		T2		T3	
	Tdb 1	Twb 1	Tdb 2	Twb 2	Tdb 3	Twb 3
15 Menit	29°C	28°C	24,7°C	21,3°C	26°C	22,5°C
30 Menit	29°C	28°C	27°C	23,7°C	27,5°C	23,6°C
45 Menit	29°C	28°C	28,1°C	24,3°C	28,2°C	24,1°C
60 Menit	29°C	28°C	29,2°C	24,7°C	28,5°C	24,6°C
Rata-rata	29°C	28°C	27,2°C	23,5°C	27,5°C	23,7°C

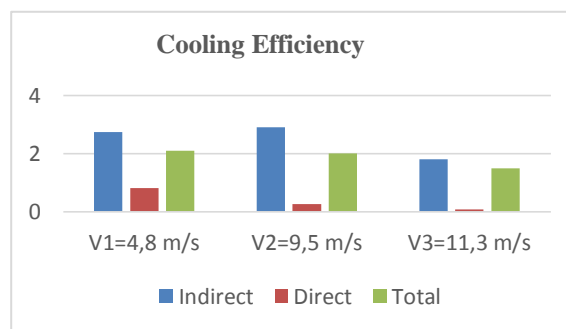
Pada Tabel 3. Menunjukkan kenaikan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara. Temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara masuk sistem dengan rata-rata 27,2°C mengalami penurunan temperatur sebesar 0,3°C dengan temperatur bola kering (ΔT_{dB}) udara keluar sistem dengan rata-rata 27,5 °C.

4.2 Performansi Pendinginan Evaporative Cooling Cooling efficiency

Merupakan didefinisikan sebagai kenaikan temperatur bola kering yang dihasilkan dibagi dengan selisih temperatur bola kering dan temperatur

bola basah udara yang memasuki sistem. (Harris, 1991) [4].

$$\epsilon = \frac{T_{dB,1} - T_{dB,3}}{T_{dB,1} - T_{wb,1}} \quad (1)$$



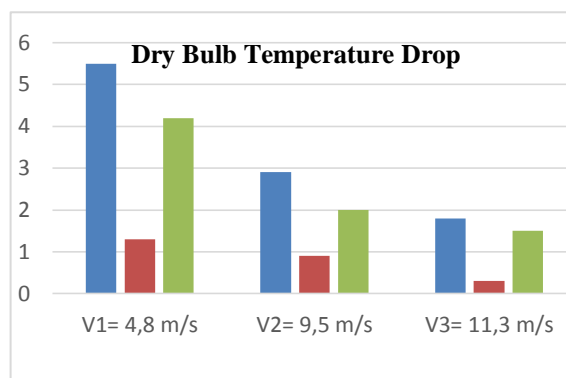
Gambar 5. Diagram Cooling Capacity

Gambar diagram diatas menunjukkan penurunan temperatur yang terjadi dari Indirect ke Direct.

Dry Bulb Temperatur Drop

Secara umum penurunan temperatur bola kering udara (ΔT_{dB}) dapat didefinisikan sebagai selisih antara temperatur bola kering udara memasuki sistem dengan temperatur bola kering udara keluar sistem. (Journal Toni Dwi Putra, Nurida Finahari)

$$\Delta T_{dB} = T_{dB,1} - T_{dB,3} \quad (2)$$



Gambar 6. Diagram Dry Bulb Temperature Drop

Gambar diagram diatas menunjukkan hasil dari indirect selalu lebih besar dari direct dan total.

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).). Holman J. P, (1986),

$$q_s = Q \rho C_p (T_{dB,i} - T_{dB,o}) \quad (3)$$

Dimana :

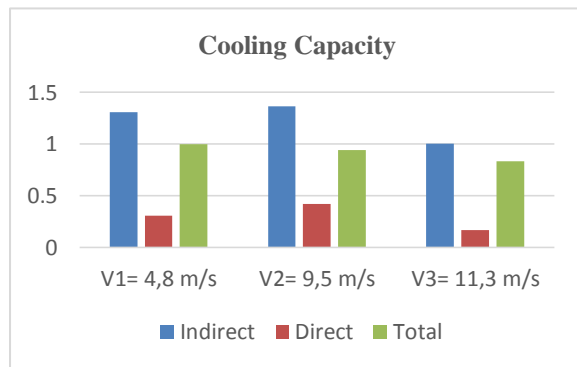
$$\begin{aligned} \rho &= \\ V_1 &= 4,8 \text{ m/s} \\ V_2 &= 9,5 \text{ m/s} \\ V_3 &= 11,5 \\ CP &= 1,03 \text{ (KJ/kg.K)} \\ A &= a \times b = 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} = 400 \text{ cm}^2 = 0,04 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$Q = V_1 \cdot A = 4,8 \text{ m/s} \times 0,04 \text{ m}^2 = 0,192 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = V_2 \cdot A = 9,5 \text{ m/s} \times 0,04 \text{ m}^2 = 0,38 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = V_3 \cdot A = 11,3 \text{ m/s} \times 0,04 \text{ m}^2 = 0,45 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = Q \rho = 0,453 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = 0,544 \text{ kg/s}$$

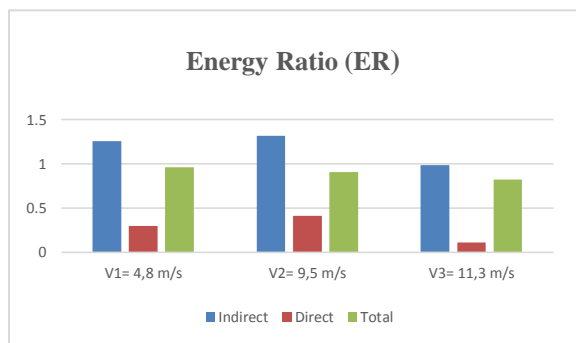


Gambar 7. Diagram Cooling Capacity

Gambar diagram diatas menunjukkan hasil dari indirect lebih tinggi di atas diagram total dan direct Energy Ratio (ER)

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

$$ER = \frac{Q \rho C_p (T_{dB,i} - T_{dB,o})}{P_t} \quad (5)$$



Gambar 8. Diagram Energy Ratio (ER)

Gambar diagram diatas menunjukkan jumlah konsumsi energy dari indirect lebih tinggi dari direct dan total.

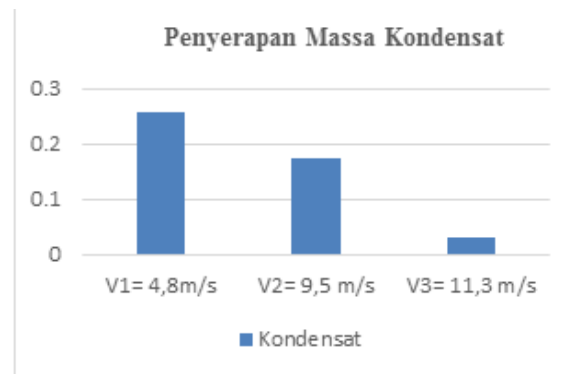
Condensation Rate

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).

$$Er = \frac{(ma - ma_0) / 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 10^3}{t} \quad (4)$$

Tabel 4. Penyerapan Massa Kondensat

Kecepatan Aliran Udara	Waktu (Menit)	Massa awal (kg)	Massa akhir (kg)
4,8 m/s	60	0,097	0,356
9,5 m/s	60	0,097	0,273
11,3 m/s	60	0,097	0,127



Gambar 9. Diagram Penyerapan Massa Kondensat

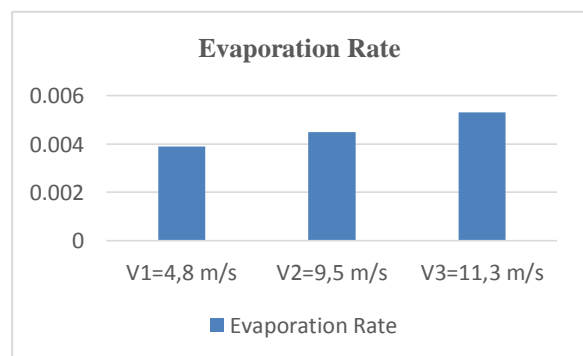
Gambar diagram diatas menunjukkan penurunan massa kondensat dari V1 ke V3.

Evaporation Rate

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).

Tabel 5. Evaporation Rate

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



Gambar 10. Diagram Evaporation Rate

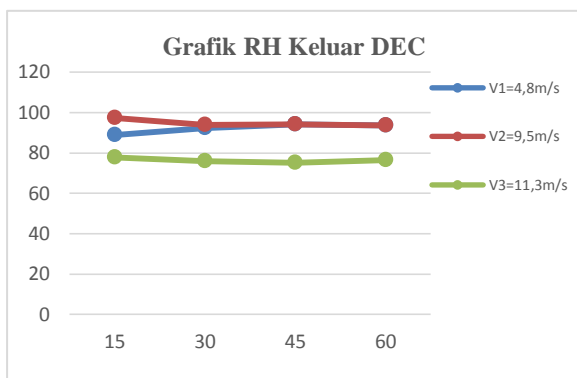
Gambar diagram berikut menunjukkan penurunan evaporative rate dari V1 ke V3 karena kecepatan aliran udara yang meningkat.

Kelembaban Relative (RH)

Dari pengolahan data diatas diperoleh juga data berupa kelembaban udara (RH) dari program psychrometric chart. 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.

Tabel 6. Kelembaban Relative

Kecepatan Aliran Udara	Waktu	T1		T2		T3	
		Tdb 1	Twb 1	Tdb 2	Twb 2	Tdb 3	Twb 3
		1	1	2	2	3	3
4,8 m/s	60 menit	29 °C	27 °C	23,5 °C	21,6 °C	24,8 °C	23,3 °C
9,5 m/s	60 menit	29 °C	28 °C	26,1 °C	22,6 °C	27 °C	25,7 °C
11,3 m/s	60 menit	29 °C	28 °C	27,2 °C	23,5 °C	27,5 °C	23,7 °C



Gambar 11. Grafik Kelembaban Relative

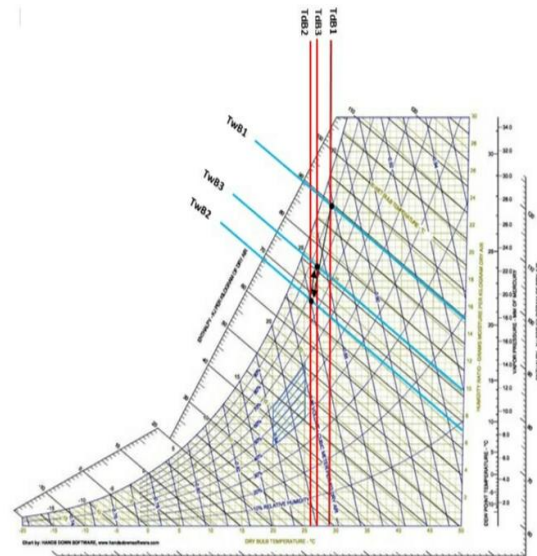
Gambar grafik diatas menunjukan hasil dari lama pengujian dari 15 menit sampai 60 menit.

4.3 Grafik Psychrometri

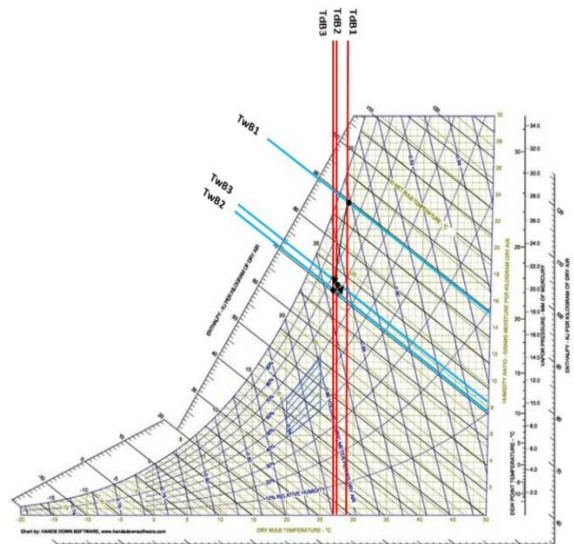
Merupakan suatu grafik untuk mengetahui kajian mengenai sifat-sifat campuran udara dan uap air, dengan mengetahui T_{in} ($T2$) dan T_{out} ($T3$) untuk memudahkan mencari titik pada diagram psychrometri chart diperlukan tabel sebagai berikut:

Tabel 7. Temperature rata-rata

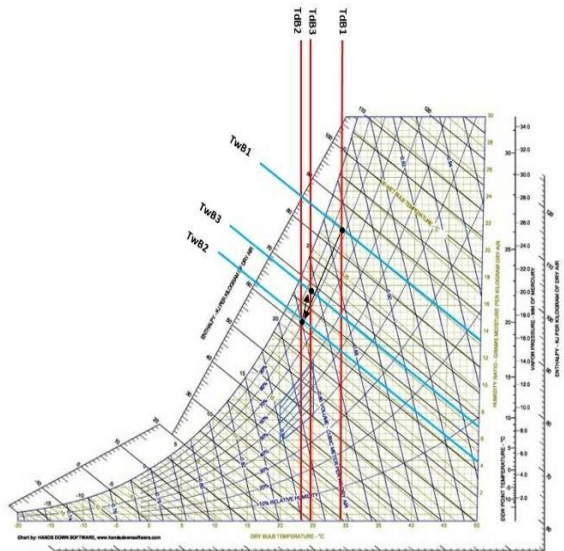
Kecepatan Aliran Udara	Waktu	T1		T2		T3	
		Tdb 1	Twb 1	Tdb 2	Twb 2	Tdb 3	Twb 3
		1	1	2	2	3	3
4,8 m/s	60 menit	29 °C	27 °C	23,5 °C	21,6 °C	24,8 °C	23,3 °C
9,5 m/s	60 menit	29 °C	28 °C	26,1 °C	22,6 °C	27 °C	25,7 °C
11,3 m/s	60 menit	29 °C	28 °C	27,2 °C	23,5 °C	27,5 °C	23,7 °C



Gambar 12. Grafik Psychrometri 4,8 m/s



Gambar 13. Grafik Psychrometri 9,5 m/s



Gambar 14. Grafik Psychrometri 11,3 m/s

Grafik Psychrometri yang di dapat pada Kecepatan Aliran udara 4,8 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi, kemudian mengalami proses pemanasan dan dehumidifikasi.

Grafik Psychrometri yang di dapat pada Kecepatan Aliran udara 9.5 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi, kemudian mengalami proses pemanasan dan dehumidifikasi.

Grafik Psychrometri yang di dapat pada Kecepatan Aliran udara 11,3 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi, kemudian mengalami proses pemanasan dan dehumidifikasi.

5. Kesimpulan

Cooling capacity performansi pada system kombinasi Indirect dan Direct evaporative cooling terjadi pada kecepatan aliran udara $V_1= 4,8$ m/s dimana besar Cooling Efficiency= 2,1 , Dry Bulb temperature Drop= 4,2°C, Cooling Capacity= 0,996 kW, EER= 0,962 , Condensation Rate= 0,259 m³/s ,dan Evaporative Rate= 0,0039 m³/jam. Dan nilai Rata-rata kelembaban udara (ΔRH) pada kecepatan aliran udara $V_1= 92,3\%$, $V_2=94,7\%$, dan $V_3=76,6\%$.

Daftar Pustaka

- [1] Arfidian Rachman, Sulaiman, & Syafrul Hadi., 2018, *Improved Performance of the Vapor Compression Cooling System Using A Combination of Condensers-Evaporative Cooling*, 8, 22-26. Retrieved from <http://dx.doi.10.21063/JTM>.
- [2] Cahyo Hardanto, & Bambang Yuniarto, *Uji Prestasi Pendinginan Evaporasi Kontak Tidak Langsung (Indirect Evaporative Cooling) Dengan Variasi Temperatur Media Pendingin Air*.
- [3] Hendra Wijaksana, & I Nengah Suarnadwipa, 2016, *Studi Eksperimental Performansi Pendingin Ice Bunker Menggunakan Media Ice Dengan Variasi Massa Berbeda*, Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, Vol.5,pp. 1-6.
- [4] Harris, Norman C., 1991, *Modern Air Conditioning Practice*, McGraw-Hill, inc.
- [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 Purnamayanto menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020. Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan perpindahan panas dan termodinamika.