

# Performansi Sistem Solid Dry Pad Dengan Media Pendingin 75% Massa Dry Ice

Dwi Wahyu Krisna Yoga, Hendra Wijaksana, Suarnadwipa  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Air Conditioner merupakan instrumen yang sangat penting pada masa sekarang karena berfungsi untuk menyejukkan udara dalam sebuah ruangan, Indonesia yang beriklim tropis, dengan suhu rata-ratanya mencapai  $35^{\circ}\text{C}$  dimana suhu nyaman yang diperlukan adalah  $22^{\circ}\text{C}$ -  $26^{\circ}\text{C}$ . Penggunaan AC menimbulkan laju temperatur bumi meningkat, melihat permasalahan tersebut di butuhkan suatu mesin pendingin yang tidak boros energi dan tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Yaitu Dew Point Evaporative Cooling, sistem ini termasuk proses pendinginan dengan mengontakkan udara secara langsung pada pad yang dingin. Dalam penelitian yang dilaksanakan memakai pad staggered berjumlah 32 batang pipa yang berisikan 75% massa es kering, pengujian ini dilaksanakan untuk menguji performa Dew Point Evaporative Cooling. Dengan variabel penelitian adalah variasi kecepatan aliran udara dimana  $V_1 = 4,8 \text{ m/s}$ ,  $V_2 = 9,5 \text{ m/s}$ ,  $V_3 = 11,3 \text{ m/s}$ . Yang akan dilakukakan pengukuran yang meliputi dari aspek menurunnya suhu bola kering udara, kapasitas, efektifitas pendinginan, EER dan Pressure drop. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu penurunan suhu bola kering udara ( $\Delta T_{db}$ ) cenderung lebih besar terjadi pada kecepatan aliran udara  $4,8 \text{ m/s}$ , di dapatkan selisih penurunan suhu udara Tin dan Tout sebanyak  $6,01^{\circ}\text{C}$ , dibandingkan terhadap kecepatan aliran udara  $11,3 \text{ m/s}$  timbul penurunan suhu udara Tin dan Tout sebesar  $3,46^{\circ}\text{C}$  seluruhnya mengalami proses pendinginan dan penurunan kandungan uap air pada udara.

Kata kunci: Evaporative Cooling, Dew Point, Dry Ice, SDP

## Abstract

Air Conditioner is a very important instrument in the present because it serves to cool the air in a room, Indonesia temperate tropis, with the average temperature reaches  $35^{\circ}\text{C}$  where a comfortable temperature required is  $22^{\circ}\text{C}$ -  $26^{\circ}\text{C}$ . The use of AC earth raises tempratur rate increases, see these problems in need of a cooling machine that is not wasteful of energy and does not damage the environment. Dew Point Evaporative Cooling Namely, this system including the cooling process by contacting the air directly to the cold pad. In a study conducted staggered pad wear berjumlah 32 lengths of pipe containing 75% by mass of dry ice, this test is performed to test the performance of Dew Point Evaporative Cooling. With the research variables are variations in air flow rate where  $V_1 = 4.8 \text{ m/s}$ ,  $V_2 = 9.5 \text{ m/s}$ ,  $V_3 = 11.3 \text{ m/s}$ . Which will dilakukakan measurements including aspects decreasing air dry bulb temperature, capacity, cooling effectiveness, EER and Pressure drop. Results obtained from this research that a decrease in air-dry bulb temperature ( $\Delta T_{db}$ ) tends to occur at higher air flow velocity of  $4.8 \text{ m/s}$ , in getting air temperature difference reduction Tin and Tout as  $6,01^{\circ}\text{C}$ , compared to the air flow rate of  $11.3 \text{ m/s}$  arising drop in air temperature Tin and Tout of  $3,46^{\circ}\text{C}$  entirely cools and decrease the moisture content in the air.

Keywords: Evaporative Cooling, Dew Point, Dry Ice, SDP

## 1. Pendahuluan

Air Conditioner/ AC adalah komponen yang sangat umum digunakan pada masa sekarang ini, karena AC memberikan efek mendinginkan dan menyejukkan di dalam ruangan. Di Indonesia yang beriklim tropis dengan suhu rata-ratanya mencapai  $35^{\circ}\text{C}$  padahal suhu nyaman yang diperlukan antara  $22^{\circ}\text{C}$  -  $26^{\circ}\text{C}$ .

Efek negatif penggunaa AirklConditioner diakibatkan komponen utamanya sendiri yakni freon, dapatdlmemberikangefek burukglterhadap penipisan lapisankgOzongjjdanklmeningkatnya laju tempratur bumi. Mesin pengkondisian udara merupakan mesin koversi energi,jjdimanajsejumlahjjenergijdibutuhkan untuk menghasilkankelefkllpendinginan, dampak lain ketika menggunakanlmesin ini akanklmemakan energi yang cukuplltinggi dandlkuranglkefisien, inilah yang mendasari penelitian membuat suatu alat pengkondisian udara DewlPoint

EvaporativelCooling.mEvaporativelcooling adalah sebuah rangkaian proses pengkondisian udara dimana dalamifase cair berkontak langsungldengan udara dan menghasilkan fase gas, sehingga suhu bola keringhjaupun suhu akhir bolah basah akan menjadi lebih rendah.

Mengikuti permasalahan tersebut, bagaimanakah penggunaan pad staggered dengan pengisian tube 75% massa Dry ice terhadap performansi dew point cooling system. Adapun batasan dalam pengujian dilaksanakan di dalam ruangan dan udara lingkungan konstan.

## 2. DasarTeori

Dew point evaporative cooling suatu rangkaian proses pendinginan yang memanfaatkan prinsip evaporative cooling, karena proses ini udara dikontakkan langsung dengan uap air maka akan terjadi perubahan kalor dari panas sensibel menjadi

panas laten. Menggunakan dry ice untuk bahan pengisian solid dry pad karena mempunyai sifat penguapan yang begitu bagus. Es kering sangat cocok digunakan untuk membekukan dan menjaga pembekuan karena memiliki suhu yang begitu dingin diantaranya yaitu :  $-78,5^{\circ}\text{C}$  ataupun  $-109,3^{\circ}\text{K}$ , sesuai pada Gambar 1.



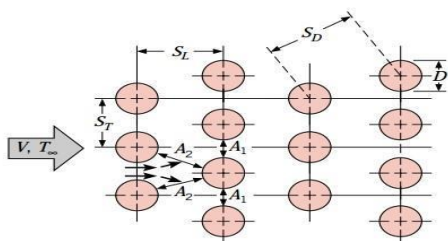
Gambar 1. Karbon Dioksida Padat (Dry Ice)

Kenyamanan suhu udara (*Thermal Comfort*) berdasarkan parameter yang dipakai dalam perancangan gedung yang diterbitkan dari lembaga LPMB-PU menetapkan kenyamanan suhu udara kepada orang Indonesia atas tiga rincian sebagai berikut :

Tabel 1. Suhu Udara Nyaman

	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban (RH)
• Sejuk Nyaman	20,5°C - 22,8°C	50 %
• Ambang atas	24°C	80%
• Nyaman Optimal	22,8°C - 25,8°C	70%
• Ambang atas	28°C	
• Hangat Nyaman	25,8°C - 27,1°C	60%
• Ambang atas	31°C	

Kemampuan melepas atau menerima panas suatu alat penukar kalor dipengaruhi oleh besarnya luas permukaan (*heating surface*). Besarnya luas permukaan itu tergantung dari panjang, ukuran dan jumlah tubes yang dipergunakan pada alat penukar kalor itu[2].



Gambar 2. Satu diantara tipe susunan tube perangkat penukar kalor

Koefisien untuk deret pertama diperkirakan sama dengan tabung tunggal di dalam aliran silang, namun koefisien perpindahan panas yang lebih besar berkaitan dengan tabung dari deret dalam. Tabung dari baris pertama bertindak sebagai grid turbulensi, yang meningkatkan koefisien perpindahan panas untuk tabung di baris berikutnya[3]. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Untuk mengetahui koefisien perpindahan panas rata-rata untuk seluruh tabung.

$$Nu_D = C_1 Re_{mD, \max} \left[ \begin{matrix} NL \geq 10 \\ 2000 < Re_{D, \max} < 40.000 \\ Pr = 0,7 \end{matrix} \right] \quad (1)$$

$$Re_{D, \max} = \frac{\rho V_{\max} D}{\mu}$$

Bilangan reynolds maks didapat berdasarkan kecepatan fluida maksimum yang terjadi dalam tabung.

$$V_{\max} = \frac{S_T}{S_T - D} V \quad (2)$$

Tatkala udara bergerak melalui tabung, laju perpindahan panas mampu secara signifikan diperkirakan dengan menggunakan  $\Delta T = T_s - T_o$  merupakan kontras suhu dalam hukum Newton.

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_o)}{\ln \left( \frac{T_s - T_i}{T_s - T_o} \right)} \quad (3)$$

Dikarenakan  $T_i$  dan  $T_o$  merupakan suhu fluida saat memasuki dan keluar tabung. Suhu luar yang dibutuhkan untuk menentukan  $\Delta T_{lm}$  bisa didapatkan dari :

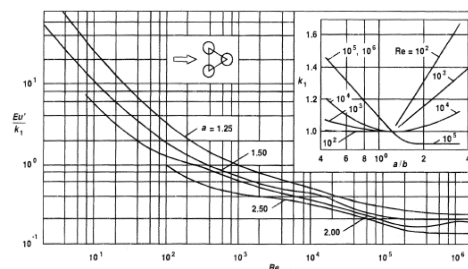
$$\frac{T_s - T_o}{T_s - T_s} = \exp \left( - \frac{\pi D N h}{\rho V N_T S_T c_p} \right) \quad (4)$$

Dikarenakan  $N$  merupakan jumlah keseluruhan tabung dan  $N_T$  merupakan banyaknya tabung dibidang transversal. Setelah  $\Delta T_{lm}$  didapatkan, laju perpindahan per satuan panjang tabung dapat dihitung.

$$q' = N(h\pi D \Delta T_{lm}) \quad (5)$$

Daya yang diperlukan untuk memindahkan fluida melalui tube sering kali berbanding lurus dengan penurunan tekanan.

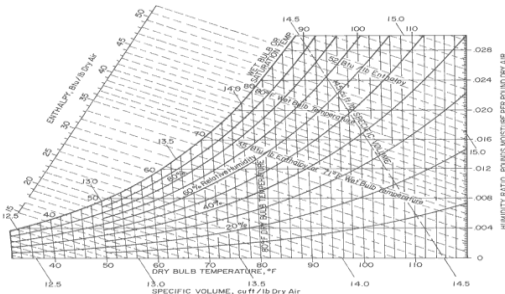
$$\Delta p = N_L X \left( \frac{\rho V^2 \max}{2} \right) f \quad (6)$$



Gambar 3. Faktor gesekan  $f$  dan faktor  $x$  susunan staggered

Adapun sifat-sifat udara basah diantaranya: Suhu Bola Kering (*Dry Bulb Temperature*) ( $T_{dB}$ ), Suhu Bola Basah (*Wet Bulb Temperature*) ( $T_{WB}$ ), Kelembaban Spesifik (*Spesifik Humidity*) ( $w$ ), Kelembaban Relatif (*Relatife Humidity*) (RH), Temperatur Dew-Point ( $T_d$ ), Volume Spesifik ( $v$ ) dan, Entalpi Udara.

Perlu diketahui bentuk dan sifat udara yang disebutkan tadi dapat menggunakan diagram yaitu dengan menggunakan *psychrometric chart* [4] sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4. Psychrometric Chart**

Penurunan suhu bola kering udara ( $\Delta T_{dB}$ ) dapat didefinisikan sebagai selisih antara temperatur bola kering udara memasuki sistem dengan temperatur bola kering udara keluar sistem [5].

$$\Delta T_{dB} = T_{dB,i} - T_{dB,o} \quad (7)$$

Efektivitas ini dapat didefinisikan sebagai penurunan temperatur bola kering udara yang dihasilkan dibagi dengan selisih temperatur bola kering udara dan temperatur bola basah udara yang memasuki sistem. (Harris, 1991)

$$\epsilon = \frac{T_{dB,i} - T_{dB,o}}{T_{dB,i} - T_{WB,i}} \quad (8)$$

dimana,

$T_{dB,i}$  = temperatur bola kering udara yang memasuki sistem ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$T_{dB,o}$  = temperatur bola kering udara yang keluar sistem ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$T_{WB,i}$  = temperatur bola basah udara yang memasuki sistem ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Kapasitas pendinginan ruangan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$q_s = \dot{m} C_p (\Delta T_{dB,i} - \Delta T_{dB,o}) \quad (9)$$

*Energy efficiency ratio* (EER) merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan sensibel dengan jumlah konsumsi energi pendinginan [6].

$$EER = \frac{\dot{m} C_p (T_{dB,i} - T_{dB,o})}{P_t} \quad (10)$$

dimana,

$\dot{m}$  = laju aliran massa udara (kg/s.).

$C_p$  = panas spesifik udara (kJ/kg.K)

$P_t$  = konsumsi energi pendinginan (kW)

### 3. Metode Penelitian

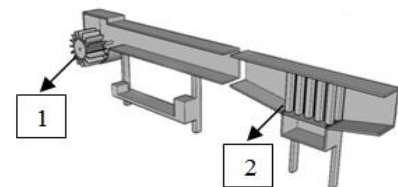
Kecepatan aliran udara divariasikan menjadi 3 yaitu :

$$V_1 = 4,8 \text{ m/s,}$$

$$V_2 = 9,5 \text{ m/s,}$$

$$V_3 = 11,3 \text{ m/s}$$

Pada gambar 5 yang tampak dibawah ini merupakan suatu desain alat pengujian.

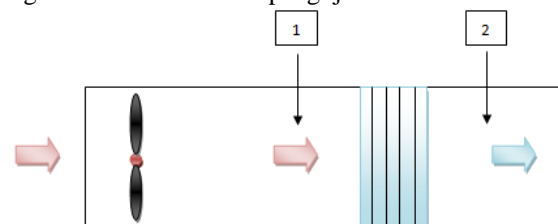


Ulasan Gambar :

1. Kipas
2. Solid Dry Pad

**Gambar 5. Desain Dew Point Cooling Pad**

Pada Gambar 6 seperti dibawah ini, menunjukan gambar skematik dari pengujian.

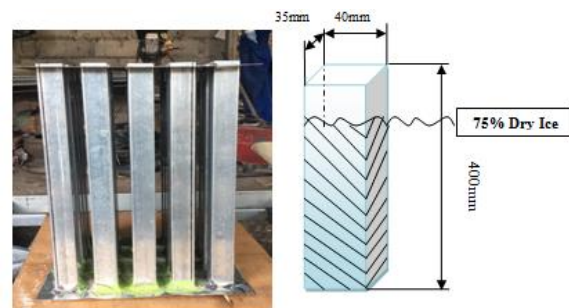


Keterangan gambar :

1. Temperatur udara masuk pads.
2. Temperatur udara keluar pads.

**Gambar 6. Model Skematik Pengujian**

Berikutnya pada Gambar 7 yang merupakan *solid dry pad* pada pengujian.

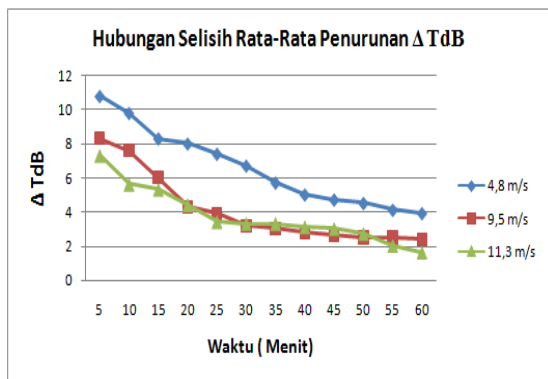


**Gambar 7. Solid Dry Pad dengan Pengisian 75% Massa Dry Ice**

### 4. Hasil dan Pembahasan

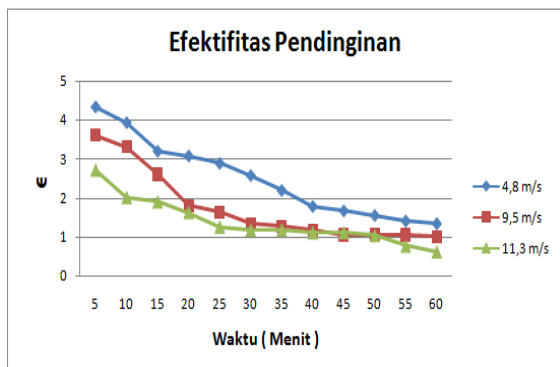
Dari hasil pengujian yang telah dilakukan maka, didapatkan data distribusi temperatur pada setiap kecepatan aliran udara selama 1 jam. Kemudian dimasukkan ke dalam rumus persamaan diatas, sehingga dapat diperoleh hasil yang dibuat dalam grafik seperti pada Gambar 8 sampai dengan Gambar 17 yang menunjukkan sebuah grafik hasil pengujian.

Menurut Gambar 8 menunjukkan grafik dari penurunan temperatur bola kering udara terhadap kecepatan aliran udara yang tiap-tiap kecepatan dilakukan pengujian selama 1 jam didapat, terjadi penurunan ( $\Delta T_{dB}$ ) bersamaan dengan meningkatnya kecepatan aliran udara yang diberikan.



**Gambar 8. Grafik Selisih Penuruna Temperatur Bola Kering Udara ( $\Delta T_{dB}$ ) Terhadap Kecepatan Aliran Udara ( m/s)**

Penurunan temperatur bola kering udara lebih besar terjadi pada kecepatan aliran udara 4,8 m/s, keadaan ini ditimbulkan dari proses pendinginan udara pada *Solid Dry Pad* berlangsung lebih lama. Akan tetapi pada kecepatan aliran udara 9,5 m/s dan 11,3 m/s terjadi penurunan temperature bola kering udara yang hampir sama. Keadaan ini timbul karena ketika saat terjadi proses pendinginan udara pada *Solid Dry Pad* berlangsung lebih singkat.

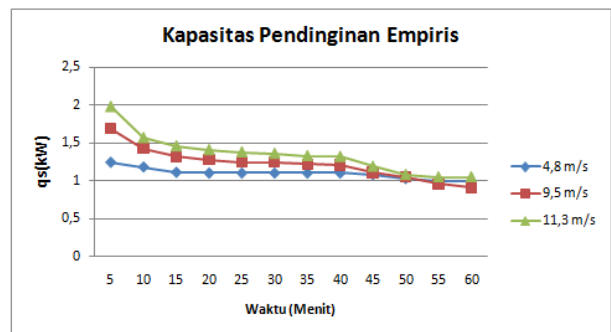
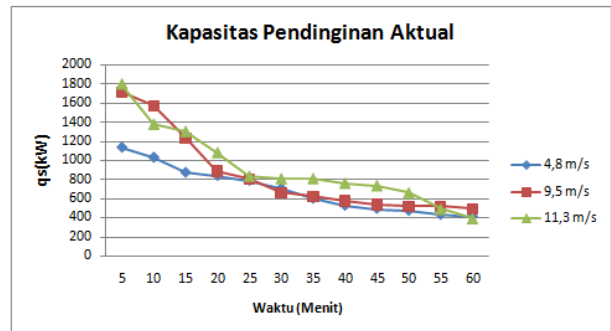


**Gambar 9. Grafik Efektifitas Pendinginan ( $\epsilon$ ) Terhadap Kecepatan Udara (m/s )**

Menurut Gambar 9 di atas memperlihatkan grafik Efektifitas pendinginan ( $\epsilon$ ) kepada kecepatan aliran udara yang diberikan selama 1 jam. Terjadi penurunan, efektifitas pendinginan seiring meningkatnya kecepatan aliran udara yang diberikan. Hal ini disebabkan oleh penyerapan sebagian panas udara oleh *Solid Dry Pad* yang sangat dingin juga pendingin yang diberikan *Pad* tidak konstan inilah yang menyebabkan terjadinya selisih yang agak besar antara  $T_{dB1}$  dengan  $T_{dB2}$ .

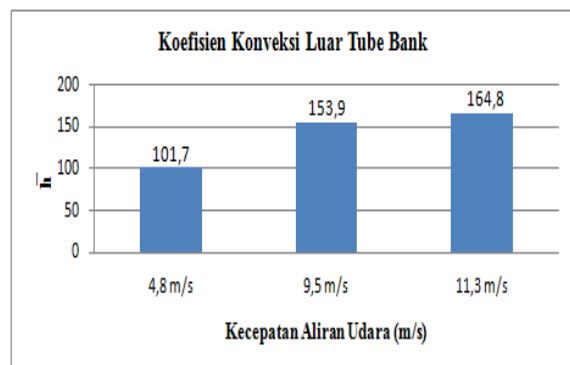
Menurut Gambar 10 di atas memperlihatkan grafik kapasitas pendinginan aktual dan empiris terhadap kecepatan aliran udara sepanjang 1 jam. Terjadi kenaikan kapasitas pendinginan bersamaan

dengan meningkatnya kecepatan aliran udara yang dipakai.



**Gambar 10. Grafik Hubungan Kapasitas Pendinginan Aktual dan Empiris Terhadap Kecepatan Aliran Udara ( m/s)**

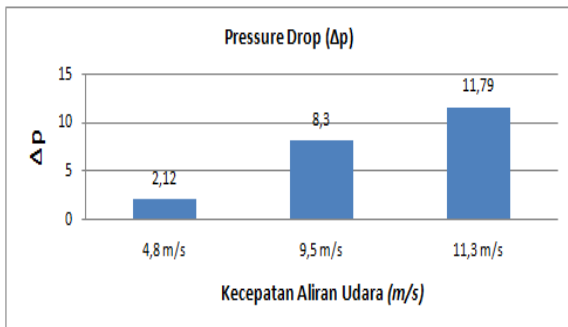
Seiring berjalannya waktu juga terjadi penurunan kapasitas pendinginan akibat *Dry ice* yang menguap. Masalah ini timbul dikarenakan kecepatan udara yang begitu tinggi akan memperbesar selisih antara  $T_{dB1}$  dengan  $T_{dB2}$  dimana, penurunan temperatur bola kering udara jadi begitu besar dikarenakan lebih banyak udara panas yang mampu diserap oleh *Solid Dry Pad* yang berisikan *dry ice*.



**Gambar 11. Grafik Koefisien Konveksi Luar Tube Bank ( $h$ ) Terhadap Kecepatan Aliran Udara (m/s)**

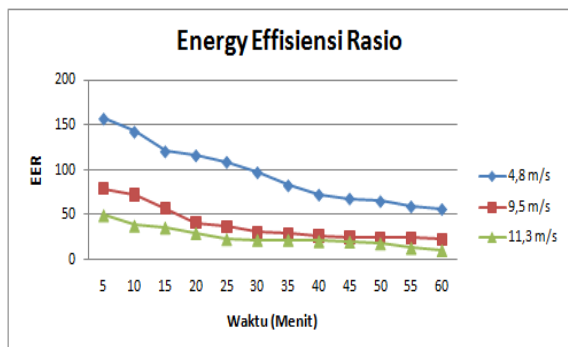
Pada Gambar 11 menunjukkan grafik koefisien konveksi luar tube bank terhadap kecepatan aliran udara yang diberikan selama 1 jam dimana, terjadi peningkatan koefisien konveksi seiring meningkatnya kecepatan aliran udara. Hal ini

ditimbulkan dari nilai Nusselt number pada tiap-tiap kecepatan.



**Gambar 12. Grafik Pressure Drop (Δp) Terhadap Kecepatan Aliran Udara (m/s)**

Pada Gambar 12 memperlihatkan grafik dari *pressure drop* terhadap kecepatan aliran udara, dimana semakin tinggi kecepatan aliran udara maka *pressure drop* yang dihasilkan juga semakin tinggi. Ini disebabkan karena gaya gesek antara udara dan media *Pad* juga besar.

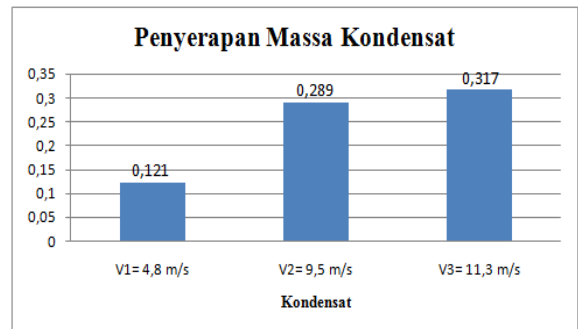


**Gambar 13. Grafik Energi Effisiensi Rasio Terhadap Kecepatan Aliran Udara (m/s)**

Dari gambar 13 memperlihatkan grafik *Energy Efficiency Ratio* (EER) terhadap kecepatan aliran udara yang diujiselama 60 menit. Pada grafik EER merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan dengan jumlah konsumsi energi pendinginan yaitu, dengan daya fan yang bervariasi sehingga, didapatkan hasil yang berbeda-beda. Pada penelitian tersebut apabila semakin tinggi kecepatan aliran udara maka *energy efficiency rationya* semakin rendah, hal ini disebabkan konsumsi daya listrik fan yang lebih tinggi dan sedikitnya panas yang menyerap ke *solid dry pad* yang berisikan 75% massa *dry ice* yang temperaturnya sangat rendah karena *dry ice* sangat cepat menguap dan daya fan yang dibutuhkan lebih tinggi.

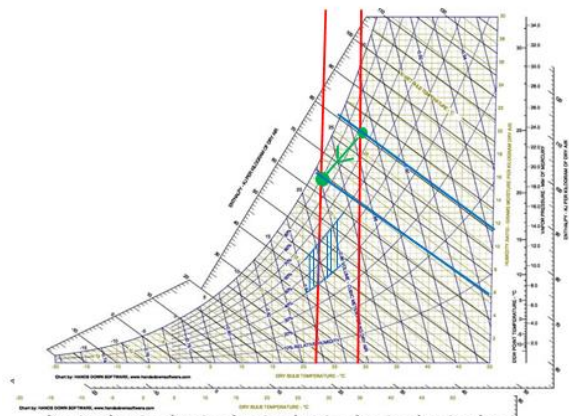
Pengembunan atau kondensasi merupakan proses perubahan molekul di dalam keadaan uap (contohnya uap air) yang dengan spontan menjadi cair. Besarnya laju pengembunan (kondensasi) dapat dihitung dari perbedaan berat kapas sebelum pengujian ( $ma_0$ ) dengan berat kapas sesudah

pengujian ( $ma$ ), jadi semakin cepat laju aliran udara maka semakin banyak kondensat yang diserap.

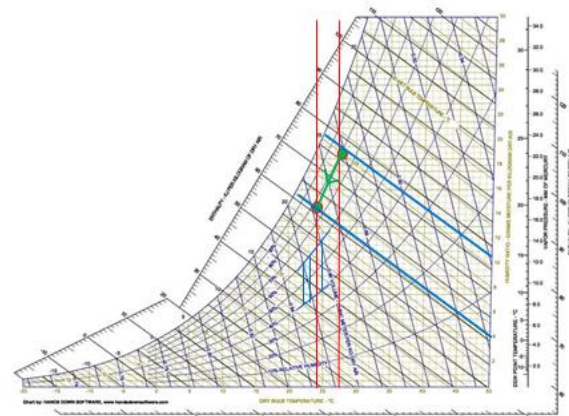


**Gambar 14. Grafik Penyerapan Massa Kondensat**

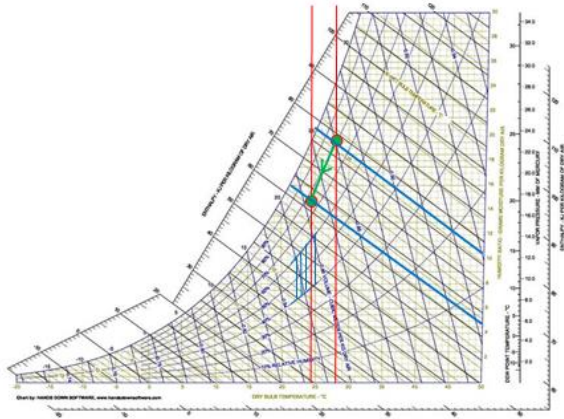
Grafik *Psychrometri* merupakan grafik untuk mengetahui kajian mengenai sifat-sifat campuran udara dan uap air, dengan mengetahui  $T_{in}$  ( $T_1$ ) dan  $T_{out}$  ( $T_2$ ) untuk memudahkan menemukan titik pada diagram *psychrometri chart*, layaknya yang diperlihatkan pada Gambar 15 isampai dengan Gambar 17.



**Gambar 15. Grfik Psychrometri Pada Kecepatan Udara 4,8 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.**



**Gambar 16. Grafik Psychrometri pada kecepatan udara 9,5 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.**



**Gambar 17. Grafik Psychrometri pada kecepatan udara 11,3 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.**

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil daripada penelitian yang telah dilahkukan dari *performansi sistem solid dry pad dengan media pendingin 75% massa dry ice* dapat ditarik kesimpulan beberapa hal antara lain:

1. Efektifitas penggunaan *Cooling Pad* dibandingkan dengan AC, setelah dilahkukan penelitian tidak bisa dipungkiri bahwa, dilihat dari segi kapasitas dan efektifitas pendinginan lebih baik AC dikarenakan menggunakan media pendingin freon dengan siklus tertutup mampu memberikan efek pendinginan secara konstan, dibandingkan *cooling pad* dengan media pendingin *dry ice* seiring berjalannya waktu efek pendinginan yang diberikan semakin menurun.
2. Dari variasi kecepatan udara yang digunakan terhadap *cooling pad* dengan media pendingin 75% massa *dry ice*, kecepatan udara yang paling baik digunakan dari segi performa pendinginan adalah variabel kecepatan 4,8 m/s
3. Dari grafik *psychrometric* pada seluruh variasi kecepatan aliran udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.

## Daftar Pustaka

- [1] Ikadek Chris Setawan, Hendra Wijaksana, I Nengah Suarnadwipa, 2018, *Studi Eksperimental Performansi Pendingin Evaporative Cooling Pads Dengan Tapis Kelapa Dan Jerami*, Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, Volume 7 No. 1, 50-53
- [2] Seth I. Manua & Simon O. Odey, 2012, *Evaluation of Pads and Geometrical Shapes for Constructing Evaporative Cooling System*.6.
- [3] A A Dwi Santika, Hendra Wijaksana, Ketut Astwa, 2016, *Studi Eksperimental Performansi Cooling Pad Berbahan Sumbu Kompor Tanpa Duting Dan Dengan*

*Ducting*, Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika.

- [4] Cahyo Hardanto, Bambang Yudianto, *Uji Prestasi Pendinginan Evaporasi Kontak Tidak Langsung (Indirect Evaporative Cooling) Dengan Variasi Temperatur Media Pendingin Air*.
- [5] Putra Toni Dwi, Finahari Nurida, 2011, *Pengaruh Perubahan Temperatur Media Pendingin Pada Direct Evaporative Cooler*, Jurnal Proton, Volume 3, No 1.
- [6] Jesse Dean, Lesley Herman, Eric Kozubal, dan Jesse Geiger, 2012, *Dew Point Evaporative Comfort Cooling*, *Evaporative Cooling*, 1, 21-30.

	<p><b>Dwi Wahyu Krisna Yoga</b> telah menyelesaikan studi program sarjana di jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2015 sampai 2021. Menyelesaikan studi program sarjana S1 dengan topic penelitian “<b>Performansi Sistem Solid Dry Pad Dengan Media Pendingin 75% Massa Dry Ice</b>”</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi.</p>	