

# Studi Eksperimental Penggunaan *Dry Ice* Untuk Konfigurasi *Inline* Dengan Rasio Pengisian Tube 50% Terhadap Performansi *Dew Point Cooling Sistem*

Arief Prasetyo, Hendra Wijaksana, N. Suarnadwipa

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

*Dew point cooling* adalah titik embun pada saat udara kondensasi dengan permukaan dimana, udara yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan udara luar lingkungan. *Cooling pad* digunakan sebagai media penyangkutan perpindahan panas untuk meningkatkan bidang kontak antara udara dan material pendingin. Dalam penelitian ini, *dry ice* merupakan material pendingin pad yang digunakan. Dibuatkan sebuah pad berbentuk balok yang disusun *inline* dan tegak lurus arah aliran udara dengan ukuran panjang 40mm, lebar 40mm, tinggi 400mm dan, berjumlah 20 balok pad. Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa *dew point cooling sistem*, yang meliputi penurunan bola kering udara, efektifitas pendinginan, kapasitas pendinginan dan EER. Variabel yang diukur saat pengujian adalah kecepatan aliran udara dengan  $V_{10} = 4,8$  m/s,  $V_{30} = 9,5$  m/s,  $V_{50} = 11,3$  m/s dan, pengisian *dry ice* 50 % atau setengah pengisian tube. Dari penelitian didapat : suhu paling rendah yaitu pada menit-menit awal dan pada kecepatan aliran udara ( $V_{10} = 4,8$  m/s) dengan pengisian 50%, menghasilkan selisih penurunan temperatur, efektifitas pendinginan dan EER yang besar namun, menghasilkan kapasitas pendinginan yang rendah karena dipengaruhi dari kecepatan yang sangat tinggi dan proses kondensasi yang terjadi sangat cepat, sehingga terjadi proses pendinginan dan dehumidifikasi.

Kata kunci : *dew point cooling*, *dry ice*, temperatur, pad

## Abstract

*Dew point cooling* is the dew point when air is condensed to the surface where, the air produced is lower than the air outside the environment. The cooling pad is used as a heat transfer filtering medium to increase the contact area between the air and the cooling material. In this study, dry ice is a cooling pad material used. Made a beam-shaped pad arranged *inline* and perpendicular to the direction of air flow with a length of 40mm, width 40mm, height 400mm and, amounting to 20 pad blocks. Tests were carried out to determine the performance of the dew point cooling system, which included a decrease in air dry balls, cooling effectiveness, cooling capacity and EER. The variable measured during testing is the velocity of air flow with  $V_{10} = 4.8$  m/s,  $V_{30} = 9.5$  m/s,  $V_{50} = 11.3$  m/s and, filling dry ice 50% or half filling the tube. From the research obtained: the lowest temperature is in the early minutes and at the air flow speed ( $V_{10} = 4.8$  m/s) with 50% filling, resulting in a decrease in temperature difference, cooling effectiveness and a large EER, resulting in cooling capacity low because it is affected by very high speeds and the condensation process occurs very quickly, resulting in a cooling and dehumidification process.

Keywords: *dew point cooling*, *dry ice*, temperature, pad

## 1. Pendahuluan

Iklim di Asia Tenggara pada umumnya memiliki iklim tropis disertai curah hujan yang tinggi, terutama di Indonesia. Di iklim yang tropis ini secara otomatis mengakibatkan suhu udara menjadi meningkat. Maka dari itu masyarakat di Indonesia memerlukan pengkondisian udara yang tidak memerlukan banyak energi, efisien, irit biaya, serta ramah lingkungan.

*Evaporative cooling* merupakan sistem pengkondisian udara yang menggunakan penguapan air untuk mendinginkan udara [1]. Teknologi *evaporative cooler* berawal dari konsep pendinginan udara dengan media air. Prinsipnya adalah mengontakkan udara dengan butiran air, sehingga terjadi perpindahan panas dari udara ke air yang mengakibatkan temperatur udara turun dan kelembapan naik. Namun pada *Dew Point Evaporative Cooler* merupakan sebuah mesin pendingin yang menggunakan prinsip sama dengan

*evaporative cooling* akan tetapi ini akan menurunkan kadar air dalam udara (kelembaban) dengan *dry ice* sebagai material pengisian dalam sebuah pipa. Sehingga pada penelitian ini untuk meningkatkan nilai penurunan temperature bola kering ( $\Delta T_{dB}$ ) sekaligus meningkatkan performa yang baik.

Berdasarkan hal diatas, bagaimanakah performansi *dew point cooling system* menggunakan solid dry pad berbahan *dry ice* sebagai material pengisi tube, dengan ratio pengisian tube 50%, dengan variasi kecepatan aliran udara 4,8m/s, 9,5m/s dan, 11,3m/s. Akan tetapi dengan batasan temperatur lingkungan dianggap konstan dan pengujian dilakukan dalam ruangan.

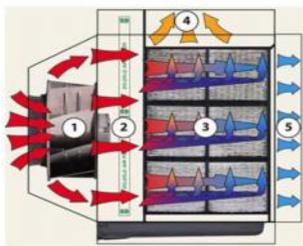
## 2. Dasar Teori

*Dew Point Evaporative Cooler* merupakan sebuah mesin pendingin yang menggunakan prinsip *evaporative cooling*. Pendinginan *evaporative* ini secara teknik disebut dengan

\*E-mail: ar.pra96@gmail.com

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 [2]. Perpindahan 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.

Sistem ini hampir sama dengan menggunakan sistem *indirect evaporative cooling* yang lebih mahal dan mengkonsumsi energi lebih banyak jika dibandingkan dengan menggunakan sistem *direct evaporative cooling*, seperti pada gambar 1.



1. Udara luar masuk melalui Fan
2. Filter
3. Solid Dry Pad
4. Exhaust system
5. Udara keluar

Gambar 1. *Indirect Evaporative Cooling*

Penggunaan *dry ice* sebagai bahan pengujian *dew point evaporative cooling pad* mempunyai sifat penguapan yang sangat baik. *Dry ice* sangat berguna untuk pembekuan dan menjaga pembekuan karena temperaturnya yang sangat dingin yaitu:  $-78,5^{\circ}\text{C}$  atau  $-109,3^{\circ}\text{F}$  [3]. *Dry Ice* seperti pada gambar 2, banyak digunakan karena pembuatannya cukup sederhana dan mudah ditangani dengan menggunakan sarung tangan insulasi.



Gambar 2. *Dry Ice* (karbondioksida padat)

Suhu udara dimana orang nyaman untuk menjalani aktivitas [4] bisa dilihat pada tabel 1 yang dibuat dalam tabel seperti dibawah:

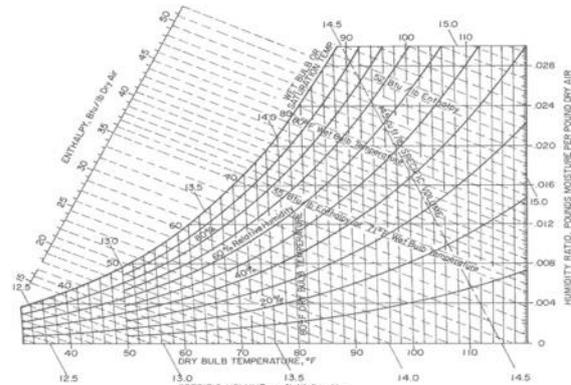
Tabel 1. Suhu Nyaman

	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	

Adapun sifat - sifat udara basah diantaranya: Temperatur Bola Kering (*Dry Bulb Temperature*) ( $T_{dB}$ ), Temperatur 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.

Untuk mengetahui sifat-sifat udara diatas bisa menggunakan diagram yaitu dengan menggunakan *psychrometric chart* [5] seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. *Psychrometric Chart*

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 sistem [6].

$$\Delta T_{dB} = T_{dB,i} - T_{dB,o} \quad (1)$$

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

$$\epsilon = \frac{T_{dB,i} - T_{dB,o}}{T_{dB,i} - T_{wB,i}} \quad (2)$$

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 ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Laju aliran volume udara, adalah :

$$Q = V \times A \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (3)$$

dimana,

$V$  = kecepatan gas (m/s)

$A$  = luas penampang laluan udara ( $\text{m}^2$ ).

Kapasitas pendinginan ruangan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$q_s = Q \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T_{Db} \quad (4)$$

dimana,

$Q$  = laju aliran volume udara ( $\text{m}^3\text{/s}$ ).

$\rho$  = massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ ).

$C_p$  = panas spesifik udara ( $\text{kJ/kg.K}$ ).

$\Delta T_{dB}$  = beda temperatur ( $^{\circ}\text{K}$ ).

Energy efficiency ratio (EER) merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan sensibel dengan jumlah konsumsi energi pendinginan [7].

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

dimana,

$Q$  = laju aliran volume udara ( $m^3/s$ ).

$\rho$  = massa jenis udara ( $kg/m^3$ ).

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

$P_t$  = konsumsi energi pendinginan ( $kW$ )

Laju Kondensasi adalah proses perubahan molekul di dalam keadaan cair (contohnya air) dengan spontan menjadi gas (contohnya uap air). Dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Er = \frac{(mc) / \rho_{air}}{t} = \frac{(ma - ma_0) / 1000Kg/m^3 \times 10^3}{t} \quad (6)$$

dimana,

$Er$  = Laju kondensasi ( $m^3/s$ ).

$\rho_{air}$  = Massa jenis air ( $Kg/m^3$ ).

$t$  = Waktu penelitian (s).

$ma_0$  = Massa alat sebelum pengujian (kg).

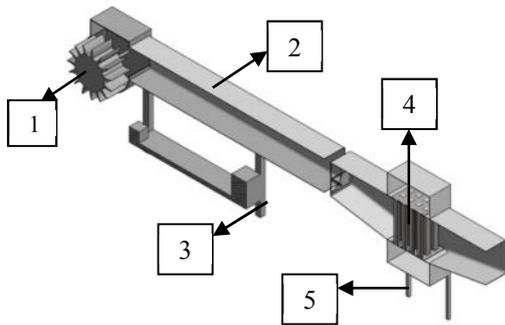
$ma$  = Massa alat setelah pengujian (kg).

### 3. Metode Penelitian

#### Variasi Kecepatan Aliran Udara

$$V_{10} = 4,8 \text{ m/s}, V_{30} = 9,5 \text{ m/s}, V_{50} = 11,3 \text{ m/s}$$

Pada gambar 4 dibawah ini merupakan desain alat dari pengujian.

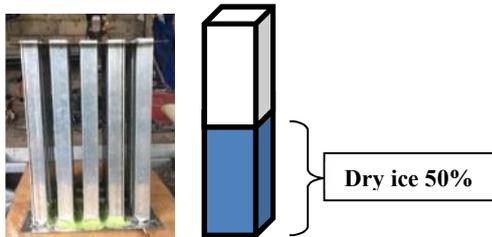


Keterangan Gambar:

1. Fan.
2. Body Blower (Mechanical fan)
3. Papan tumpuan blower.
4. Solid Dry Pad.
5. Papan tumpuan solid dry pad

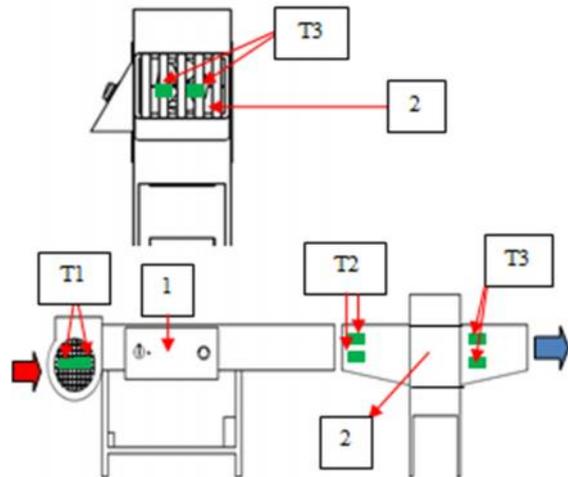
**Gambar 4. Desain 3D Alat Dew Point Cooling Pad**

Berikutnya pada gambar 5 yang merupakan solid dry pad pada pengujian.



**Gambar 5. Solid Dry Pad Dengan Pengisian Dry Ice 50%**

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



**Gambar 6. Skematik Pengujian Dew Point Cooling Sistem**

Keterangan gambar :

1. Mechanical Fan
2. Solid Dry Pad terdapat 20 besi yang berbentuk balok

Termometer :

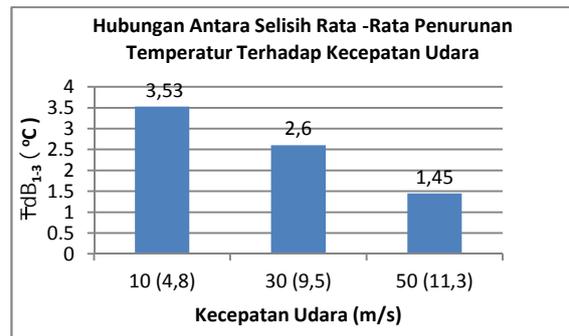
$T_1$  = Temperatur udara masuk fan (udara sekitar) ( $T_{dB}$  &  $T_{WB}$  ( $^{\circ}C$ ))

$T_2$  = Temperatur udara masuk pads (setelah fan) ( $T_{dB}$  &  $T_{WB}$  ( $^{\circ}C$ ))

$T_3$  = Temperatur udara keluar pads ( $T_{dB}$  &  $T_{WB}$  ( $^{\circ}C$ )).

### 4. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan maka, didapatkan data distribusi temperatur pada setiap kecepatan aliran udara selama 60 menit. Kemudian dimasukkan ke dalam rumus persamaan diatas, sehingga dapat diperoleh hasil yang dibuat dalam grafik seperti pada gambar 7 sampai dengan gambar 11 yang menunjukkan sebuah grafik hasil pengujian.

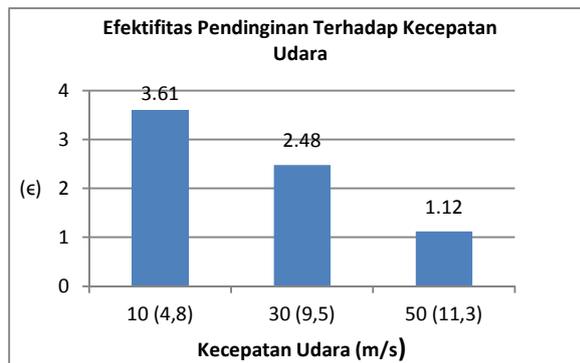


**Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Selisih Rata-Rata Penurunan Temperatur Terhadap Kecepatan Aliran Udara**

Pada gambar 7. menunjukkan grafik dari penurunan temperature bola kering udara terhadap kecepatan aliran udara selama 60 menit dimana, didapat bahwa terjadi penurunan  $\Delta T_{dB}$  seiring meningkatnya kecepatan aliran udara yang diberikan. Hal ini disebabkan karena jumlah aliran udara yang

mengalir semakin banyak sehingga lebih banyak panas yang dipindahkan dari udara luar yang mengalir pada saat proses pendinginan terjadi.

Pada kecepatan udara 4,8m/s, terjadi peningkatan temperatur disebabkan karena saat proses pendinginan udara pada pad terjadi lebih lama dengan putaran yang sangat rendah sehingga, semakin sedikit panas yang mampu diserap oleh pad yang sehingga suhu udara yang keluar jauh lebih rendah. Namun Pada kecepatan udara 11,3m/s, terjadi penurunan temperatur karena permukaan pad pada saat terjadinya proses pendinginan akan lebih cepat dengan putaran yang tinggi dan semakin banyak panas yang menyerap ke pad yang suhunya sangat rendah.



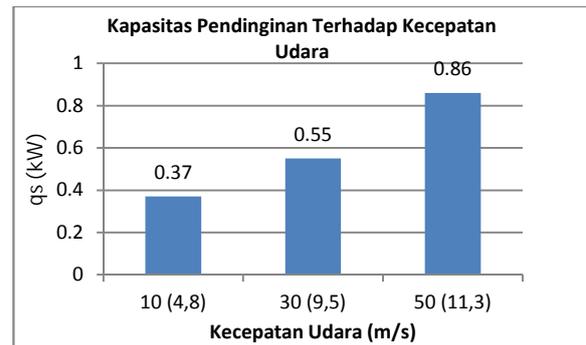
Gambar 8. Grafik Efektifitas Pendinginan ( $\epsilon$ ) Terhadap Kecepatan Udara (m/s)

Dari gambar 8 menunjukkan grafik Efektifitas pendinginan ( $\epsilon$ ) terhadap kecepatan udara yang diberikan selama 60 menit. Terjadi penurunan efektifitas pendinginan, hal ini disebabkan oleh penyerapan sebagian panas udara oleh kecepatan udara terhadap pad yang sangat dingin yang menyebabkan terjadinya selisih cukup besar antara  $T_{db1}$  dengan  $T_{db3}$ . Besaran  $T_{wb1}$  cenderung tidak mengalami perubahan yang cukup besar karena,  $T_{wb1}$  merupakan suhu bola basah udara luar yang memasuki sistem. Sehingga saat dimasukkan ke dalam persamaan efektifitas pendinginan akan menghasilkan efektifitas yang tinggi.

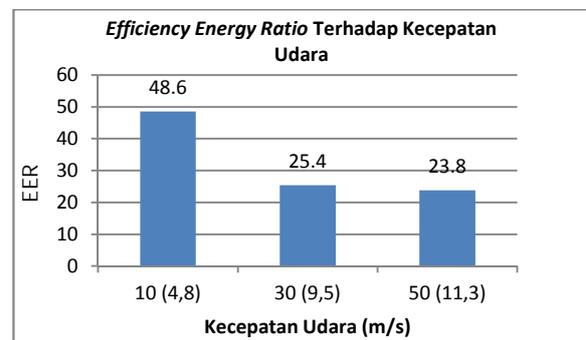
Namun pada keadaan tertentu terjadi penurunan efektifitas saat menggunakan putaran fan yang lebih rendah dimana kecepatan udaranya mencapai 9,5 m/s. Hal ini disebabkan karena terlalu kecilnya selisih antara  $T_{db1}$  dengan  $T_{db3}$  yang dipengaruhi oleh temperatur udara pada  $T_{db1}$  tercampur dengan udara panas yang berada diluar sistem.

Dari gambar 9 menunjukkan grafik kapasitas pendinginan ( $q_s$ ) terhadap kecepatan aliran udara selama 60 menit. Terjadi peningkatan kapasitas pendinginan seiring meningkatnya kecepatan udara yang digunakan. Hal ini disebabkan karena kecepatan udara yang sangat tinggi akan memperbesar selisih antara  $T_{db1}$  dengan  $T_{db3}$  dimana, penurunan temperatur bola kering udara akan lebih besar karena lebih banyak udara panas yang mampu diserap oleh pad yang berisikan *dry ice*. Dengan demikian bila dimasukkan kedalam

persamaan kapasitas pendinginan akan menghasilkan grafik seperti gambar diatas.

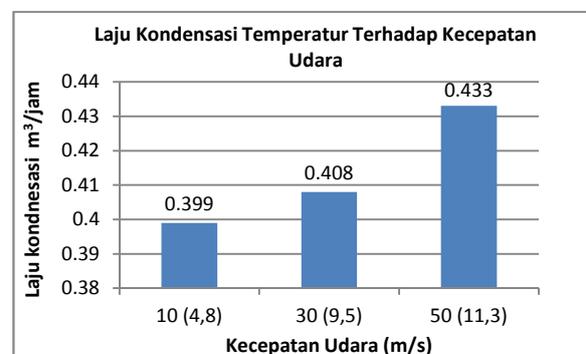


Gambar 9. Grafik Kapasitas Pendinginan ( $q_s$ ) Terhadap Kecepatan Udara (m/s)



Gambar 10. Grafik Efficiency Energy Ratio (EER) Terhadap Kecepatan Udara (m/s)

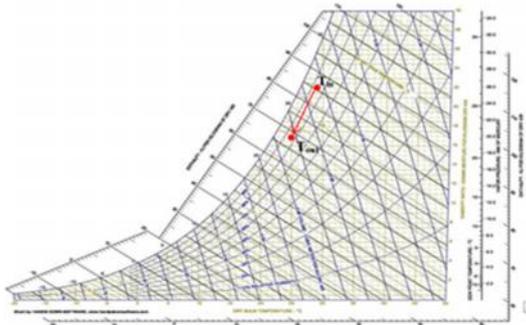
Dari gambar 10 menunjukkan grafik Energy Efficiency Ratio (EER) terhadap kecepatan aliran udara selama 60 menit. Pada grafik EER merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan dengan jumlah konsumsi energi pendinginan yaitu, dengan daya fan yang bervariasi sehingga, memperoleh hasil yang berbeda beda. Pada penelitian ini apabila semakin tinggi kecepatan aliran udara maka efficiency energy rasionya semakin rendah, dikarenakan sedikitnya panas yang menyerap ke solid dry pad yang berisikan dry ice 50% yang temperaturnya sangat rendah dan dry ice yang cepat menguap dan daya fan yang dibutuhkan lebih besar.



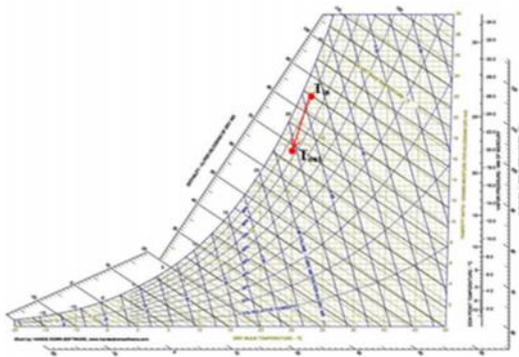
Gambar 11. Grafik Laju Kondensasi ( $m^3/jam$ ) Terhadap Kecepatan Udara (m/s)

Dari gambar 11 menunjukkan grafik laju kondensasi ( $m^3/jam$ ) terhadap kecepatan udara yang

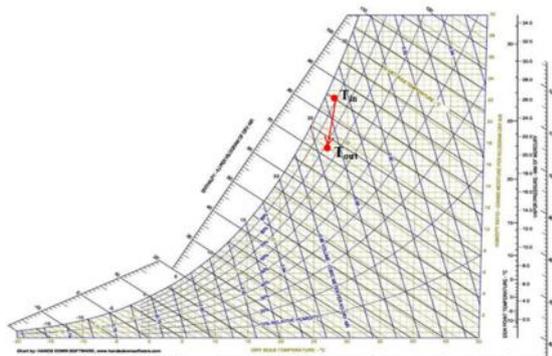
diberikan selama 60 menit. Semakin besar aliran udara maka semakin banyak laju kondensasi yang terjadi dikarenakan, putaran yang besar membutuhkan waktu yang cepat untuk menguap dibandingkan dengan kecepatan yang kecil sampai menengah. Seperti pada gambar 12 didalam grafik dapat dilihat perbedaan laju kondensasi antara ketiga laju alir terhadap putaran. Sehingga terlihat perbedaan berat kapas setelah pengujian.



Gambar 12. Grafik Psychrometri pada kecepatan udara 4,8 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.



Gambar 13. Grafik Psychrometri pada kecepatan udara 9,5 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.



Gambar 14. Grafik Psychrometri pada kecepatan udara 11,3 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.

Grafik Psychrometri merupakan grafik untuk mengetahui kajian mengenai sifat - sifat campuran udara dan uap air, dengan mengetahui  $T_{in}$  (T1) dan  $T_{out}$  (T3) untuk memudahkan mencari titik pada diagram psychrometri chart, seperti yang ditunjukkan pada gambar 12 sampai dengan gambar 14.

## 5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan adalah semakin besar kecepatan aliran udara dengan pengisian 50% yang diberikan maka : selisih penurunan temperatur bola kering udara ( $\Delta T_{dB}$ ) dan, Efektifitas pendinginan ( $\epsilon$ ) cenderung menurun dikarenakan pengisian dari material dry ice hanya sebesar 50 % (setengah pengisian) dan cepat mencair. Pada Kapasitas Pendinginan ( $q_s$ ) dan, EER terjadi penurunan pada saat menit – menit akhir waktu pengujian. Pada kecepatan 10 (4,8 m/s) dalam pengujian menghasilkan performa pendinginan ( $\Delta T_{dB}$ , Efektifitas Pendinginan ( $\epsilon$ ), Kapasitas pendinginan ( $q_s$ ), EER) yang lebih baik dibandingkan dengan kecepatan 50 (11,3 m/s), hal ini terjadi karena dry ice saat bersentuhan langsung dengan dinding pad maka dry ice tersebut akan cepat mencair. Kecepatan aliran udara yang menghasilkan suhu nyaman optimal adalah kecepatan aliran udara 10 (4,8 m/s) dan 30 (4,8 m/s) yang berhasil tercapai dalam pengujian pada menit – menit awal selama 60 menit sehingga udara menjadi sejuk dan basah. Laju Kondensasi yang dihasilkan dalam pengujian ini dipengaruhi oleh kecepatan aliran udara, semakin cepat aliran udara maka semakin cepat laju kondensasi yang terjadi dikarenakan *dry ice* yang cepat mencair serta pengisiannya hanya 50 %. Bisa dilihat pada grafik psychrometri disetiap variasi kecepatan aliran udara, mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.

## Daftar Pustaka

- [1] Rizky Pratama Rachman, Bambang Yunianto, 2014, *Pengaruh Jenis Sprayer Terhadap Efektivitas Direct Evaporative Cooling Dengan Cooling Pad Serabut Kelapa*, 2, 2.
- [2] Riangvilaikul, B. Kumar, S., 2010, *An Experimental Study Of A Novel Dew Point Evaporative Cooling System Energy and Buildings*, Elsevier, 42 :637.
- [3] I Putu Yudi Aryawan, Hendra Wijaksana, dan I Nengah Suarnadwipa. 2016. *Study Eksperimental Performa Pendingin Ice Bunker Dengan Kombinasi Massa Dry Ice Dan Ice*. Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, 5, 3.
- [4] Basaria Talarosha 2005, *Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan*. Sistem Teknik Industri, 6, 3.

- [5] I N. Suryana , I N; Suarnadwipa, dan Hendra Wijaksana, 2014, ***Studi Eksperimental Performansi Pendingin Evaporative Portable Dengan Pad Berbahan Spon Dengan Ketebalan Berbeda.*** Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, 1, 1.
- [6] Putra Toni Dwi, dan Finahari Nurida, 2011, ***Pengaruh Perubahan Temperatur Media Pendingin Pada Direct Evaporative Cooler,*** Journal Proton, 3, 1.
- [7] Effatnejad R, Salehian A.B., 2009, ***Standard of Energy Consumption And Energy Labeling In Evaporative Air Cooler in Iran,*** Jurnal IJTPE, 1, 1.



**Arief Prasetyo** telah menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2014 sampai 2019. Menyelesaikan studi program sarjana S1.

Topik penelitian “Studi Eksperimental Penggunaan *Dry Ice* Untuk Konfigurasi *Inline* Dengan Rasio Pengisian Tube 50% Terhadap Performansi *Dew Point Cooling Sistem*”.