

# Studi Experimental Penggunaan *Dry Ice* Untuk Konfigurasi *In Line* Dengan Rasio Pengisian *Tube* 100% Terhadap Performansi *Dew Point Cooling System*

I Made Dwi Mahadi Putra, Hendra Wijaksana, N. Suarnadwipa  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukkit Jimbaran Bali

## Abstraksi

*Dew point evaporative cooling* merupakan proses mendinginkan udara tanpa meningkatkan kelembaban. Sistem ini hampir sama dengan menggunakan sistem *indirect* yang lebih mahal dan mengkonsumsi energi lebih banyak jika dibandingkan dengan menggunakan sistem *direct evaporative cooler*. Akan tetapi *dew point evaporative cooling system* ini sedikit berbeda dengan *Indirect evaporative cooling* dan *direct evaporative cooling*, dikarenakan *dew point evaporative cooling* ini, ramah lingkungan dan, sederhana. Pada penelitian ini, *Dry Ice* merupakan material *cooling pad* yang digunakan pada metode penelitian. Memasukkan *Dry Ice* ke dalam *cooling pad* yang di susun secara *in-line* dan tegak lurus dengan aliran udara dengan ukuran panjang *cooling pad* 400mm, berdiameter 40mm, dan berjumlah 20 batang besi *cooling pad*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performansi *dew point cooling system*, yang meliputi penurunan temperatur rata-rata bola kering udara, efektifitas pendinginan, kapasitas pendinginan dan EER. Variabel yang diukur saat pengujian adalah kecepatan aliran udara (m/s), putaran 10 (4,8m/s), putaran 30 (9,5m/s), putaran 50 (11,3m/s) dengan pengisian tube 100%. Dari penelitian ini didapat: Penurunan rata-rata temperatur bola kering udara putaran 10 (4,8m/s) 4,6231, putaran 30 (9,5m/s) 4,0077, putaran 50 (11,3m/s) 2,2769. Semakin cepat kecepatan (m/s) aliran udara akan menghasilkan penurunan temperatur bola kering udara, serta terjadi pendinginan dan dehumidifikasi.

Kata Kunci: kecepatan aliran udara (m/s), pendinginan, es kering

## Abstract

*Dew point evaporative cooling* is the process of cooling air without increasing humidity. This system is almost the same as using system *indirect* which is more expensive and consumes more energy when compared to using the *direct evaporative cooler system*. But this *dew point evaporative cooling system* is slightly different from *Indirect evaporative cooling* and *direct evaporative cooling*, because this *evaporative cooling dew point* is environmentally friendly and simple. In this study, *Dry Ice* is a *cooling pad* material used. Insert *Dry Ice* into the *cooling pad* arranged *in-line* and perpendicular to the air flow with a *cooling pad* length of 400mm, 40mm in diameter, and amount to 20 *cooling pad* iron bars. This test was conducted to determine the performance of the *dew point cooling system*, which includes a decrease in the average temperature of air dry balls, cooling, effectiveness, cooling capacity and EER. The variables measured during the test are air flow velocity (m / s), round 10 (4.8m / s), rotation of 30 (9.5m / s), rotation of 50 (11.3m / s) by filling the tube 100%. From this study, it was obtained: Decrease in the average temperature of dry spherical air ball 10 (4.8m / s) 4.6231, rotation 30 (9.5m / s) 4.0077, rotation 50 (11.3m / s) 2, 2769. The faster the speed (m / s) of air flow will result in a decrease in the temperature of the air dry ball.

Keywords: , velocity of air flow, cooling, *Dry Ice*

## 1. Pendahuluan

Dari pengaruh panasnya cuaca yang ada di wilayah Indonesia, sebagian besar penduduk di wilayah Indonesia menggunakan sistem pendingin (AC) yang kurang ramah lingkungan serta boros terhadap listrik. Di daerah tropis penggunaan AC sangat luas termasuk di dalamnya penggunaan sistem pendingin untuk mall, kantor-kantor pemerintah dan swasta maupun untuk apartemen, perumahan elit, rumah sakit, hotel-hotel dan lain sebagainya. Penggunaan AC secara luas ini sangatlah membutuhkan pasokan energi listrik yang cukup besar, disamping dampak lingkungan yang ditimbulkan yang dapat menyebabkan peningkatan pemanasan global. Untuk mengatasi hal tersebut,

maka dari itu diperkenalkan suatu sistem pendingin, ramah lingkungan serta hemat energi seperti sistem pendingin *evaporative cooling*.

Teknologi *Evaporative Cooling* (EC) merupakan proses pendinginan udara yang mengalir melintasi permukaan basah dengan menguapkan air dari permukaan basah tersebut sehingga temperatur udara sekitarnya turun menjadi lebih rendah (mendinginkan udara) [1].

Dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan pengujian performansi sistem pendingin *evaporative cooling* dengan spon sebagai material *pads*. Pada pengujian ini diperlihatkan pengaruh ketebalan dan kerapatan material *pad* serta pengaruh variasi debit dan temperatur air. Material *pad* yang

lebih tebal dan temperatur air pendingin yang lebih rendah serta debit air (sistem tetes) yang lebih besar memberikan performa yang lebih baik. Penurunan temperatur bola kering yang mampu dicapai dengan proses pendinginan udara evaporative tidak dapat lebih rendah daripada temperatur bola basah aliran udara yang memasuki sistem. Penurunan temperatur bola kering udara sepanjang debit air yang diuji terjadi peningkatan  $\Delta T_{dB}$  seiring bertambahnya debit air yang diberikan [2].

Kemudian (T. Gunhan, 2007) juga melakukan penelitian terhadap pendingin evaporative cooling yang berjudul *evaluation of the suitability of some local materials as cooling pad* dengan batu apung dan tuf vulkanik sebagai bahan material pad. Pada penelitiannya dihasilkan bahwa performa sistem pendingin dengan tuf vulkanik lebih baik di bandingkan batu apung[3].

Berdasarkan hasil-hasil penelitian tersebut, maka penulis akan melakukan penelitian tentang evaporative cooling dengan judul "Penggunaan Dry Ice Untuk Konfigurasi Staggered Dengan Rasio Pengisian Tube 100% Terhadap Performansi Sistem Pendingin Evaporative Cooling. Sistem Evaporative Cooling (EC) " mempunyai keunggulan yaitu hemat energy, efisiensi, konstruksi sederhana tanpa menggunakan material pad dimana penelitian kali ini kita akan meningkatkan selisih penurunan temperatur bola kering  $\Delta T_{dB}$  dengan menggunakan Solid Dry Pad dengan Dry ice sebagai material solid pengisi tube menggantikan sistem evaporative cooling yang menggunakan kontak langsung dengan air untuk mendinginkan udara. Penggunaan dry ice dimaksudkan untuk mendapatkan efek dingin yang cukup besar pada permukaan tube, sehingga diharapkan dapat menghasilkan nilai  $\Delta T_{dB}$  yang lebih besar, sehingga secara umum akan dapat meningkatkan performa sistem pendingin evaporative cooling[4].

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Dry Ice

Dry Ice (es kering) adalah karbon dioksida beku. Dry ice sangat berguna untuk pembekuan dan menjaga pembekuan karena temperturnya yang sangat dingin yaitu: -78 C. Dry Ice banyak digunakan karena pembuatannya cukup sederhana dan mudah ditangani dengan menggunakan sarung tangan insulasi. Adapun alternatif penggunaan pendingin / pembeku seperti dry ice kini tersedia dalam wujud Ice pack yang dapat dipakai ulang selama 3 tahun, tidak seperti dry ice yang bersifat sekali pakai. Ice pack dapat digunakan berulang-ulang dengan masa pakai hingga 3 tahun.

### 2.2 Karakteristik Bahan Dew Point Evaporative Cooling Pad

Jenis yang paling banyak digunakan bahan pad adalah selulosa bergelombang yang telah diresapi dengan bahan zat pembasah dan garam larut agar

tidak mengalami pembusukan. Pad ini melakukan kerja pendingin udara yang sangat baik, tentunya dengan perawatan yang tepat. Pad yang bergelombang akan tahan lama.

### 2.3. Suhu Udara Nyaman (Thermal Comfort)

Kenyamanan suhu terdiri dari dasar fisiologi suatu kenyamanan, efek sampingan dari suatu ketidaknyamanan, daerah temperatur secara fisiologi, rentang temperatur yang nyaman, empat faktor klimatik dan kenyamanan. Ketidaknyamanan merupakan suatu proses biologi yang sederhana untuk semua jenis makhluk yang berdarah panas untuk menstimulasi agar melakukan suatu langkah utama untuk meretorasi kembali suatu proses pertukaran panas yang benar. Secara geografis Indonesia berada dalam garis khatulistiwa atau tropis, namun secara thermis (suhu) tidak semua wilayah Indonesia merupakan daerah tropis. Daerah tropis dengan suhu rata-rata 20°C, sedangkan rata-rata suhu di wilayah Indonesia umumnya dapat mencapai 35°C [5]. Sementara itu, Standar Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan Gedung yang diterbitkan oleh Yayasan LPMB-PU membagi suhu nyaman untuk orang Indonesia atas tiga bagian pada Tabel 1:

**Tabel.1. Suhu Nyaman Menurut Standar Tata Cara Perancangan pada Gedung.**

	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	

### 2.4 Performansi Pendinginan Evaporative

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. 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[6].

Penurunan temperatur bola kering udara dapat dihitung dengan persamaan yaitu:

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

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

dimana,

$T_{dB,i}$  =temperatur bola kering udara yang memasuki sistem.(C°)

$T_{dB,o}$  =temperatur bola kering udara yang keluar sistem. (C°)

$T_{wb,i}$  =temperatur bola basah udara yang memasuki sistem. (C°)

Kapasitas pendinginan sensibel dapat dihitung dapat dihitung dengan persamaan berikut dalam satuan.

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

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

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

dimana,

$Q$  = laju aliran volume udara, m<sup>3</sup>/s.

$\rho$  = massa jenis udara, kg/m<sup>3</sup>.

$C_p$  = panas spesifik udara, kJ/kg.K

$P_t$  = konsumsi energi pendinginan, kW.

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1. Variabel Penelitian

Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan ditentukan dalam sebelum penelitian, diantaranya:

- a. Kecepatan aliran udara : V1 = 10 regavolt  
V2 = 30 regavolt  
V3 = 50 regavolt

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian, yakni:

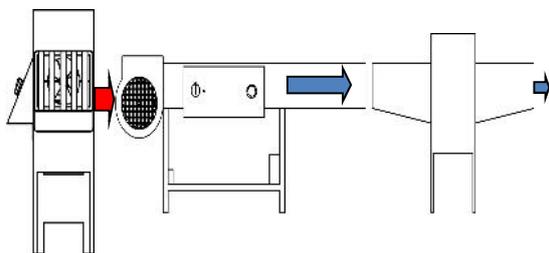
- a. Performa sistim pendingin *dew point evaporatif cooling* termasuk didalamnya *cooling efficiency*, *energy efficiency ratio (EER)*, *cooling capacity*, *dry bulb*.

#### 3.2. Pemodelan Pengujian

Pengujian *dew point cooling system* maka dibuat pemodelan alat seperti gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Mekanika Alat Dew Point Cooling System



Gambar 2. Model Skematik Pengujian.

#### 3.3. Langkah Perancangan

Langkah-langkah dalam perancangan *dew point cooling system* ini adalah sebagai berikut :

- a. Siapkan alat dan bahan berupa pipa besi 1/2" sebanyak 20 batang dengan panjang 400 mm.

- b. Posisikan pipa-pipa tersebut secara in-line , atur jarak antara pipa, dan sambungkan bagian bawah pipa-pipa tersebut pada plat datar dengan pengelasan, sehingga terbentuk *cooling pad*.
- c. Pengisian pipa-pipa pad dengan dry ice sesuai dengan prosentase pengisiannya. Pengisian dilakukan dengan menggunakan pipa sampel yang terukur volumenya, baru kemudian dituangkan ke masing-masing pipa terpasang.
- d. Bila pengisian telah selesai, lalu tempatkan *solid dry pad* setelah fan pada box uji.
- e. Setelah semua selesai maka rangkai alat seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.
- f. Pasang thermometer bola kering dan bola basah pada sisi masuk udara pada fan serta sisi masuk dan sisi keluar udara dari *solid dry pad*.

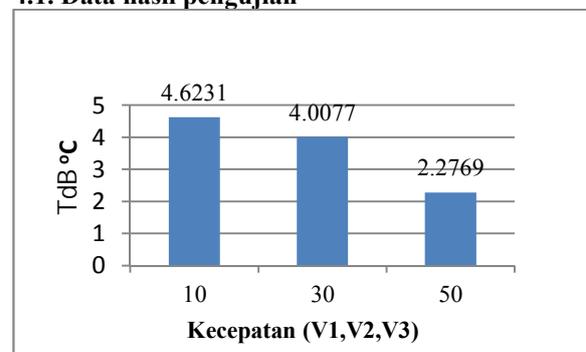
#### 3.4 Prosedur Penelitian

Pengujian *dew point cooling system* ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan aliran udara masuk, prosentase volume pengisian pipa. Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Persiapkan peralatan dan perlengkapan yang akan digunakan, pasang thermometer bola kering dan thermometer bola basah di tempat yang telah ditentukan.
- b. Atur putaran fan pada putaran I (10 Regavolt)
- c. Pasang *solid dry pad* dengan pengisian *dry ice* 100%, susunan *in-line*
- d. Setelah sistim siap, hidupkan fan, lakukan pencatatan temperature bola kering dan bola basah pada sisi masuk fan, sisi masuk pad dan sisi keluar pad setiap 5 menit dalam rentang waktu selama 60menit
- e. Lakukan pengulangan b - d untuk putaran II (30 Regavolt) dan putaran III (50 Regavolt).
- f. Lakukan pengujian untuk masing-masing putaran fan sebanyak 3 kali.
- g. Analisa hasil pengujian.

### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1. Data hasil pengujian

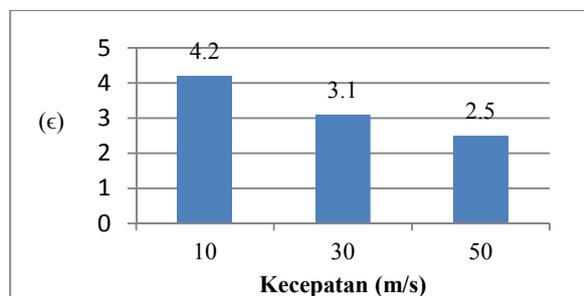


Gambar 3. Grafik Penurunan Temperatur Bola Kering Udara ( $\Delta T_{dB}$ )

Pada gambar 3 menunjukkan grafik dari penurunan temperature bola kering udara terhadap kecepatan aliran udara (m/s) yang telah diuji dimana, terlihat sedemikian rupa terjadi penurunan  $\Delta T_{DB}$  seiring meningkatnya putaran dari fan yang diberikan. Fenomena ini disebabkan karena banyaknya jumlah aliran udara yang mengalir pada pad sehingga lebih banyak panas yang dipindahkan dari udara luar yang mengalir pada saat proses pendinginan terjadi. Dapat dilihat penurunan temperature bola kering udara lebih besar terjadi pada kecepatan V1, hal ini disebabkan karena pada permukaan pad lebih banyak bisa menyimpan panas sehingga temperatur udara yang keluar menjadi kering dan dingin. Kecepatan ini dibutuhkan untuk mendinginkan ruangan yang tidak cukup besar sehingga tidak membutuhkan kecepatan udara yang lebih besar.

Namun pada keadaan yang sebaliknya terjadi penurunan temperature bola kering udara yang lebih kecil pada kecepatan V3. Hal ini disebabkan karena permukaan pad pada saat terjadinya proses pendinginan tidak cukup lama dapat menyimpan panas karena putaran yang tinggi.

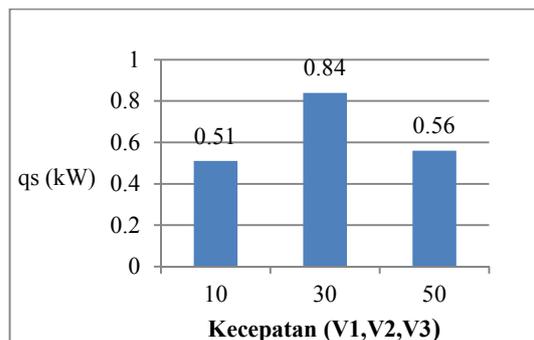
Efektifitas pendinginan merupakan dimana penurunan temperature bola kering yang dihasilkan cooling pad semakin menurun seiring besarnya kecepatan aliran udara (m/s) yang memasuki system. Berikut plot grafik karakteristik efektifitas pendinginan yang dihasilkan pada gambar berikut:



Gambar 4. Grafik Efektifitas pendinginan (ε)

Pada gambar 4 Dapat dijelaskan bahwa pada kecepatan aliran udara (m/s) 10 proses pendinginan yang terjadi lebih efektif dibandingkan dengan kecepatan aliran udara (m/s) 50. Hal ini disebabkan karena *Dry Ice* yang ada pada *cooling pad* kecepatan aliran udara (m/s) 10 lebih lama menguap dibandingkan dengan kecepatan aliran udara (m/s) 50, pada kecepatan aliran udara (m/s) 50 lebih banyak panas yang masuk melewati pad sehingga *Dry Ice* pada cooling pad, mengalami penguapan dengan cepat dan pendinginan menjadi tidak efektif.

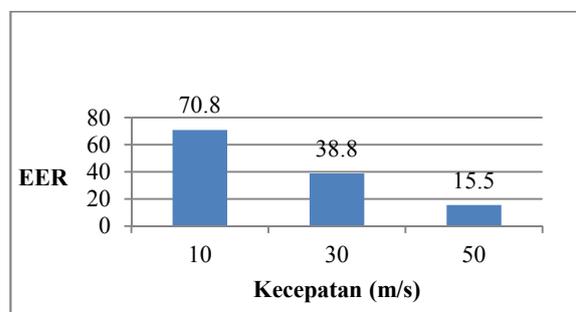
Kapasitas pendinginan adalah jumlah panas yang mampu diserap suatu media atau mesin pendingin dari medium yang diinginkan. Berikut plot grafik karakteristik kapasitas pendinginan yang dihasilkan pada gambar berikut:



Gambar 5. Grafik Kapasitas Pendinginan (qs)

Pada gambar 5 Dapat dijelaskan bahwa grafik dari kapasitas pendinginan terhadap kecepatan udara (m/s) yang telah diuji, bahwa terjadi peningkatan kapasitas pendinginan seiring meningkatnya putaran fan yang digunakan, karena semakin cepatnya putaran fan maka semakin cepat juga menguapnya *Dry ice* dalam *cooling pad*. Hal ini disebabkan karena jika putaran fan sangat tinggi akan memperkecil selisih antara  $T_{DB} 1$  dengan  $T_{DB} 3$  dimana, penurunan temperature bola kering udara akan lebih kecil karena cukup banyak udara panas yang mampu diserap oleh pad yang berisikan *Dry ice*.

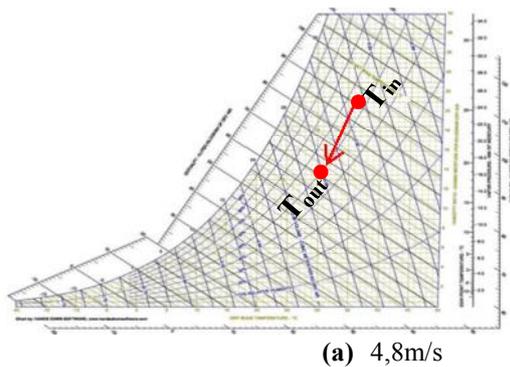
EER / *Energy Efficiency Ratio* merupakan sebuah nilai perbandingan antara beban panas yang dipindahkan (KW) dengan beban listrik yang digunakan (KW).. Berikut plot grafik karakteristik EER yang dihasilkan pada gambar berikut:



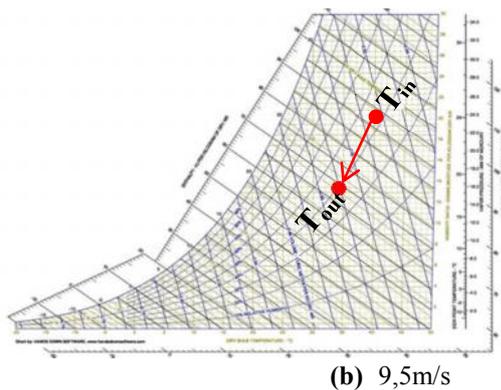
Gambar 6. Grafik *Energy Efficiency Ratio* (EER)

Pada Gambar 6 menunjukkan grafik dari EER terhadap kecepatan (m/s) yang diuji dimana, dapat dilihat bahwa grafik EER yang dihasilkan adalah dimana energi yang dibutuhkan pada kecepatan 10 lebih besar dibandingkan kecepatan 50, karena pada kecepatan 50 *Dry Ice* pada cooling pad lebih cepat menguap dibandingkan kecepatan 10, sehingga jika *Dry Ice* cepat menguap akan sedikit energi yang dibutuhkan untuk melakukan pendinginan. Pada penelitian ini apabila semakin tinggi kecepatan (m/s) maka *energy efficiency ratio* semakin rendah, dikarenakan sedikitnya udara panas yang menyerap ke *solid dry pad* yang berisikan *dry ice*.

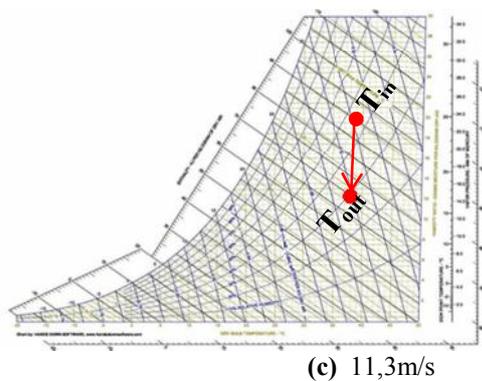
Psychometric Chart dapat ditampilkan sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik Psychometric



Gambar 8. Grafik Psychometric



Gambar 9. Grafik Psychometric

## 6. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian yang diambil maka dapat ditarik suatu kesimpulan:

1. Kecepatan aliran udara (m/s) 10 regavolt (4,8m/s) menghasilkan penurunan temperatur bola kering udara sangat baik dibandingkan dengan kecepatan aliran udara 50 regavolt (11,3m/s) dikarenakan pada kecepatan aliran udara 10 regavolt (4,8m/s) *Dry Ice* lebih bertahan lama dibandingkan kecepatan aliran udara 50 regavolt (11,3m/s) yang cepat menguap.
2. Dari hasil penelitian ini, pengisian *Dry Ice tube* 100% kecepatan aliran udara 10 regavolt

(4,8m/s) memiliki tingkat pendinginan yang lebih efisien dibandingkan dengan kecepatan aliran udara 50 regavolt (11,3m/s) yang kurang efisien dikarenakan *Dry Ice* yang cepat menguap.

3. *Dry Ice* akan cepat menguap apabila kecepatan aliran udara semakin tinggi.

## Daftar Pustaka

- [1] Richardus I G.N. Dima D., Hendra Wijaksana, N. Suarnadwipa, 2016, *Studi Eksperimental Performansi Pendingin Ice Bunker Menggunakan Media Ice Dengan Variasi Massa Berbeda*. Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika Vol. 5 No. 3.
- [2] Cahyo Hardanto, Bambang Yuniarto, *Uji Prestasi Pendinginan Evaporasi Kontak Tidak Langsung (Indirect Evaporative Cooling) Dengan Variasi Temperatur Media Pendinginan Air*.
- [3] T.Gunhan, V. Demir, A.K. Yagcioglu, 2007, *Evaluation of the sustainability of some local materials as cooling pads*, *Biosystem Engineering* 96 (3), 369–377.
- [4] Rachman, Sulaiman, Arfidian, *Improved Performance of the Vapor Compression Cooling System Using A Combination of Condensers-Evaporative Cooling*
- [5] Basaria Talarosha, 2005, Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan. (2005)
- [6] Harris, Norman C., 1991, *Modern Air Conditioning Practice*. McGraw Hill, inc.



**I Made Dwi Mahadi Putra** telah menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2014 sampai 2019.

Topik penelitian: “Studi Experimental Penggunaan *Dry Ice* Untuk Konfigurasi *In Line* Dengan Rasio Pengisian *Tube* 100% Terhadap Performansi *Dew Point Cooling System*”.