

## Studi Laju Kondensasi Dan Distribusi Kelembaban Udara *Dew Point Cooling System* Pada Solid Dry Pad Susunan In-Line Dengan Volume Pengisian Tube 50%

Kd Nova Ariawan, Hendra Wijaksana, dan IGK Sukadana  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

### Abstrak

*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. Dalam penelitian ini, dry ice merupakan material pendingin pad yang digunakan. Dibuatkan sebuah pad berbentuk kotak yang disusun in-line dan tegak lurus arah aliran udara dengan ukuran panjang 40 mm, lebar 40mm, tinggi 400mm dan berjumlah 20 balok pad. Pengujian dilakukan untuk mengetahui efektifitas pendinginan, kapasitas pendinginan dan ER. Variabel yang diukur saat pengujian adalah kecepatan aliran udara dengan  $V_1 = 4,8$  m/s,  $V_2 = 9,5$  m/s,  $V_3 = 11,3$  m/s dan pengisian dry ice 50%. Dari penelitian didapat ; Selisih penurunan temperature bola kering yang terjadi semakin besar pada kecepatan aliran udara yang lebih rendah,  $V_1$  (4,8m/s) dibandingkan dengan kecepatan aliran udara yang lebih tinggi  $V_3$  (11,3m/s) dikarenakan pada kecepatan aliran udara yang lebih rendah waktu tinggal udara lebih lama dibandingkan pada kecepatan aliran udara yang lebih tinggi. Kelembaban udara pada kecepatan aliran udara yang lebih tinggi cenderung mengalami penurunan, karena semakin banyak uap air udara yang mengalami kondensasi di permukaan luar pad. Laju kondensasi semakin meningkat dengan meningkatnya kecepatan aliran udara.

Kata kunci: Dew point cooling, dry ice, temperature, pad.

### Abstract

Dew Point Evaporative Cooler is a cooling machine that uses the principle of evaporative cooling. Evaporative cooling is technically called adiabatic cooling which is an air conditioning process that is carried out by allowing direct contact between air and water vapor so that changes from sensible heat to latent heat occur. In this study, dry ice is a cooling pad material used. Made a box-shaped pad arranged inline and perpendicular to the direction of the air flow with a length of 40mm, width 40mm, height 400mm and a total of 20 beam pad. Tests are carried out to determine the effectiveness of cooling, cooling capacity and ER. The variable measured during testing is the velocity of air flow with  $V_1 = 4.8$  m/s,  $V_2 = 9.5$  m/s,  $V_3 = 11.3$  m/s and filling dry ice 50%. From the research obtained; The difference in decrease in dry ball temperature that occurs is greater at lower air flow speeds,  $V_1$  (4.8 m/s) compared to higher air flow velocity  $V_3$  (11.3 m/s) due to lower airflow times air stays longer than at higher air flow speeds. Air humidity at higher air flow speeds tends to decrease, because more air vapor experiences condensation on the outside surface of the pad. The condensation rate increases with increasing air velocity.

Keywords: Dew point cooling, dry ice, temperature, pad.

### 1. Pendahuluan

Dari pengaruh panasnya cuaca 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* 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). Hampir 60% energi listrik untuk bangunan gedung atau hotel dikonsumsi oleh sistem pendingin AC[1]. Disamping itu, penggunaan refrigerant pada AC menimbulkan dampak lingkungan yang kurang baik. Memang benar sistem AC ini mampu memberikan tingkat kenyamanan udara yang dibutuhkan dalam suatu gedung yakni 22°C - 25°C dengan kelembaban relatif udara[2]. Tetapi hal tersebut sebanding dengan konsumsi energi listrik yang dibutuhkan AC untuk menggerakkan kompresor. Semakin tinggi tingkat kenyamanan yang dibutuhkan, semakin tinggi pula konsumsi energi listrik

yang dibutuhkan. Sebenarnya pada sistem AC ini lebih diakibatkan karena sistem AC harus menangani beban panas sensible dan beban panas laten udara ruangan yang akan didinginkan. Karena sebenarnya, udara ruangan di negara kita pada umumnya memiliki beban panas sensible yang cukup tinggi, yakni panas udara itu sendiri dengan suhu berkisar antara 28° - 35°C dan beban panas laten yakni kandungan uap air (*moisture*) yang ada pada udara berkisar antara 70-80%. Kedua beban ini harus ditangani oleh sistem AC dalam waktu yang bersamaan, yang terjadi pada evaporator AC[3]. Dimana suhu refrigerant yang cukup dingin sekitar 4-5°C, akan cukup mampu menyerap panas sensible udara dalam jumlah yang cukup signifikan dan juga sekaligus mengurangi kelembaban relative udara melalui proses kondensasi pada pipa-pipa evaporator. Untuk itu dalam penelitian ini akan dipelajari suatu sistem pendingin yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan, yakni sistem pendingin evaporative, tepatnya adalah *dew point cooling system* (DPCS). Secara umum ada dua tipe evaporative cooling, yaitu *direct evaporative cooling* dan *indirect evaporative cooling*[4]. Perbedaan dasarnya adalah pada udara keluaran *direct evaporative cooling (DEC)* Kelembapannya meningkat, sedangkan pada *indirect evaporative cooling (IEC)* kelembapannya konstan karena air pendinginnya tidak berkontak langsung dengan udara. Jadi DPCS ini sebenarnya adalah termasuk *indirect evaporative cooling*, dimana tidak terjadi kontak langsung antara udara yang didinginkan dan air, tetapi DPCS ini mampu menurunkan kelembaban relative udara yang didinginkan, dengan adanya proses kondensasi pada pipa-pipa SDP, sedangkan pada IEC kelembaban relatifnya konstan. Sistem DPCS dalam penelitian ini adalah barisan pipa-pipa yang kedalamnya dimasukkan dry ice dalam prosentase pengisian tertentu, selanjutnya disebut Solid Dry Pad (SDP), yang nantinya akan dapat menangani beban panas sensible dan laten udara tanpa memerlukan masukan energi listrik untuk kompresor. Jadi sistem DPCS kerja evaporator pada AC. Dimana udara akan diserap panas sensiblenya oleh pipa-pipa dengan suhu permukaan yang cukup rendah dan sekaligus mengkondensasikan kandungan uap air ( beban panas laten) yang ada pada udara, sehingga udara produk yang dihasilkan akan berkurang temperaturnya (dingin) dan berkurang pula kelembaban relatifnya (kering)[5]. Berdasarkan hal tersebut diatas, maka akan diteliti laju kondensasi dan juga distribusi kelembaban udara yang terjadi pada SDP dengan judul : Studi Laju Kondensasi dan Distribusi Kelembaban Udara *Dew Point Cooling System* pada *Solid Dry Pad* Susunan *In-Line* dengan Volume Pengisian *Tube* 50%. Dalam penelitian ini, nantinya akan dipelajari pengaruh kecepatan aliran udara terhadap laju kondensasi dan distribusi kelembaban udara yang terjadi pada SDP dengan volume pengisian *tube* 50%.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Dew Point Evaporative Cooling

*Dew point evaporative cooling* merupakan titik embun udara artinya suhu dimana udara mulai mengembun menimbulkan titik-titik air. Sistem ini hampir sama dengan menggunakan sistem *indirect* yang lebih mahal dan mengkonsumsi energi lebih banyak jika dibandingkan dengan menggunakan sistem *direct evaporative cooler*[6].

### 2.2. Temperatur Dew – Point (Td)

Jika udara didinginkan, maka kemampuan udara untuk mempertahankan uap air yang dikandungnya akan menurun. Pada penurunan temperatur yang lebih lanjut akan menyebabkan kondensasi atau terjadinya embun. Temperatur *dew –point* didefinisikan sebagai temperatur dimana uap air dalam udara yang didinginkan mulai mengembun[7]. Hal ini berarti udara harus didinginkan mencapai temperatur *dew – point* untuk mengurangi kandungan uap air yang ada didalamnya

## 3. Metode Penelitian

### 3.1. Alat dan Bahan

Dalam proses penelitian ini alat yang digunakan yaitu: fan, thermometer dan termokopel, stopwatch, manometer, dry ice, timbangan, anemometer dan kapas.

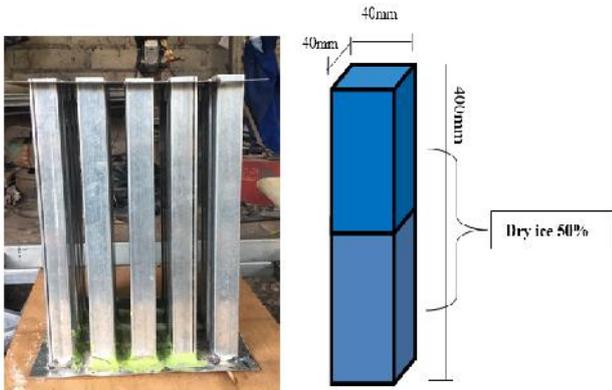
### 3.2 Cara Kerja Alat Pengujian

Udara luar dengan suhu, kelembaban dan kecepatan tertentu akan mengalir memasuki solid dry tube dengan temperature permukaan pipa yang cukup dingin. Udara luar yang diketahui mengandung banyak uap air (*moisture*) kemudian bila bersentuhan dengan permukaan pipa dengan temperature yang lebih rendah dari temperature bola basah udara luar, maka akan terjadi kondensasi. Demikian pula panas sensible yang ada pada udara luar akan mengalami penurunan yang cukup tajam, karena permukaan pipa yang cukup dingin, akan menyerap panas sensible udara luar tersebut. Dengan demikian udara luar yang melewati *Solid Dry Pad*, akan mengalami penurunan temperature dan kelembaban, sehingga menjadi udara yang kering dan dingin.

### 3.3. Pemodelan Pengujian.

Untuk mempermudah pengujian *dew point cooling system* maka dibuat pemodelan alat seperti gambar berikut. Pada Gambar 2 udara luar dengan suhu, kelembaban dan kecepatan tertentu akan mengalir memasuki solid dry tube dengan temperature permukaan pipa yang cukup dingin. Udara luar yang diketahui mengandung banyak uap air (*moisture*) kemudian bila bersentuhan dengan permukaan pipa dengan temperature yang lebih rendah dari temperature bola basah udara luar, maka akan terjadi kondensasi. Demikian pula panas sensible yang ada pada udara luar akan mengalami penurunan yang cukup tajam, karena permukaan pipa yang cukup dingin, akan menyerap panas sensible udara luar tersebut. Dengan demikian udara luar

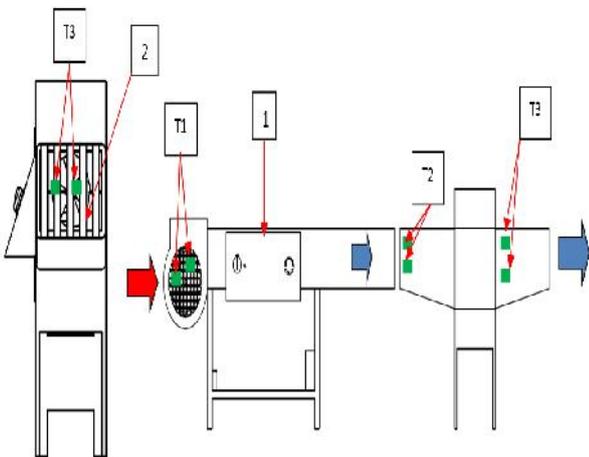
yang melewati *Solid Dry Pad*, akan mengalami penurunan temperature dan kelembaban, sehingga menjadi udara yang kering dan dingin.



**Gambar 1. Solid Dry Pad Dengan Pengisian Tube Dry Ice 50%**

Keterangan Gambar 1 :

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



**Gambar 2. Model Skematik Pengujian**

Keterangan Gambar 2 :

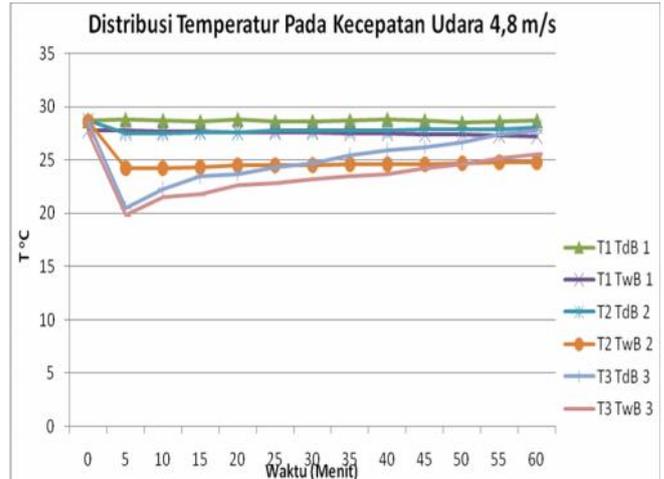
Thermometer :

- $T_1$  = Temperatur udara masuk fan (udara sekitar).
- $T_2$  = Temperatur udara masuk pads (setelah fan)
- $T_3$  = Temperatur udara keluar pads.

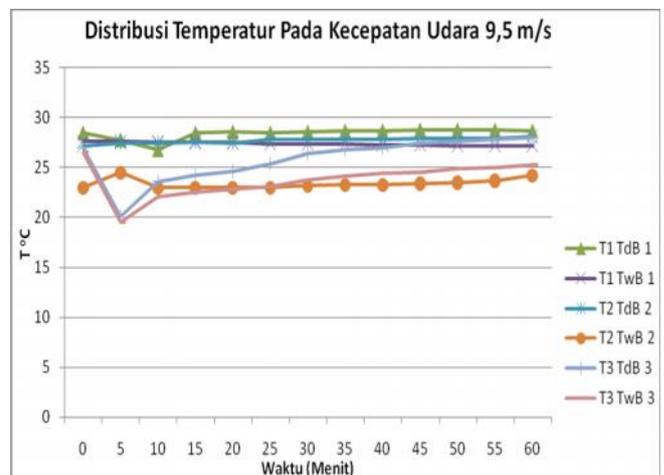
#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1. Pembahasan

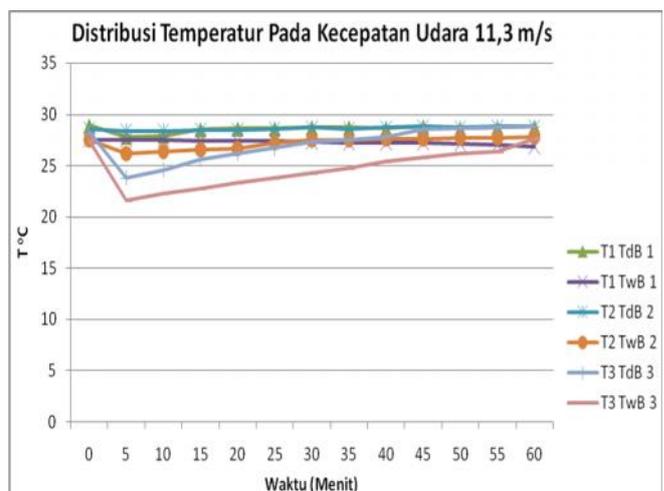
Dari pengolahan data yang dilakukan, didapat analisa melalui grafik hasil plot perhitungan yang dilakukan yaitu berupa besarnya: Penurunan Temperatur Bola Kering ( $\Delta T_{dB}$ ), Distribusi Kelembaban Udara dan Laju Kondensasi.



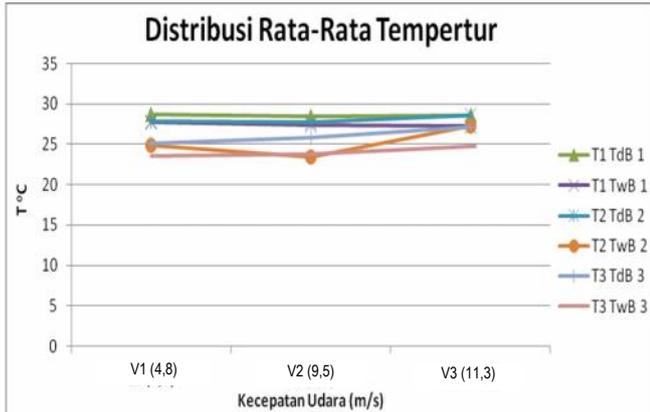
**Gambar 3. Grafik Distribusi Temperatur Pada Kecepatan Udara  $V_1$  (4,8 m/s)**



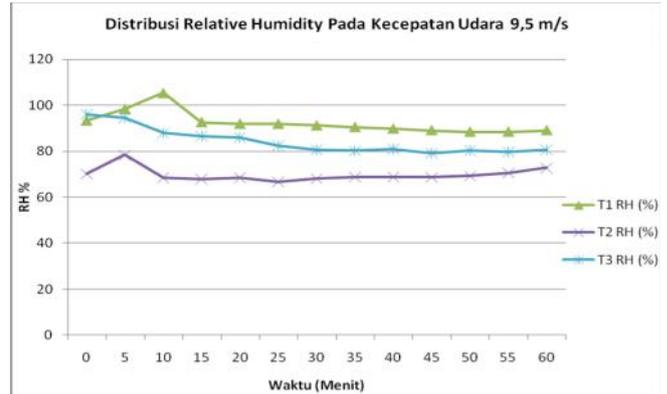
**Gambar 4. Grafik Distribusi Temperatur Pada Kecepatan Udara  $V_2$  (9,5 m/s)**



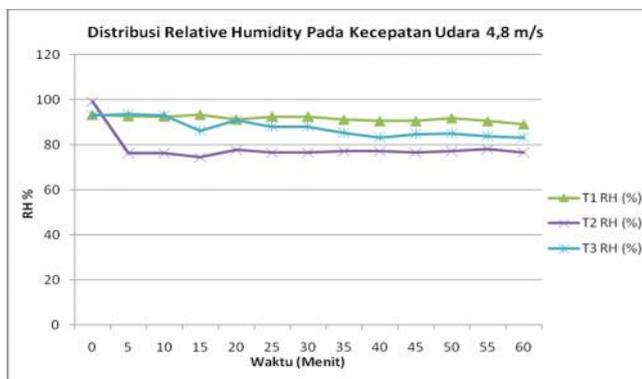
**Gambar 5. Grafik Distribusi Temperatur Pada Kecepatan Udara  $V_3$  (11,3 m/s)**



Gambar 6. Grafik Distribusi Rata – Rata Temperatur

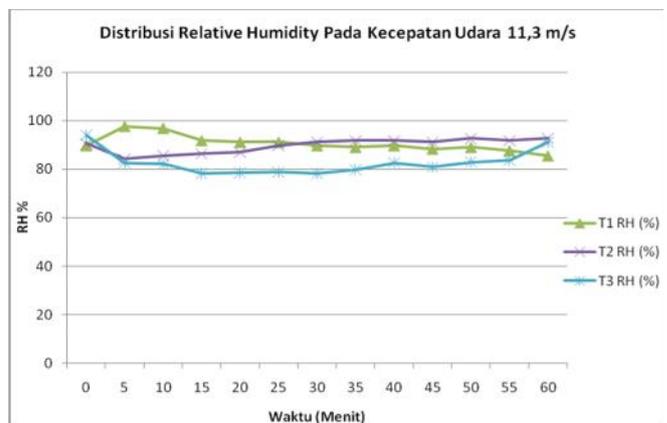


Gambar 8. Grafik Distribusi Relative Humidity Pada Kecepatan udara V<sub>2</sub> (9,5 m/s)



Gambar 7. Grafik Distribusi Relative Humidity Pada Kecepatan udara V<sub>1</sub> (4,8 m/s)

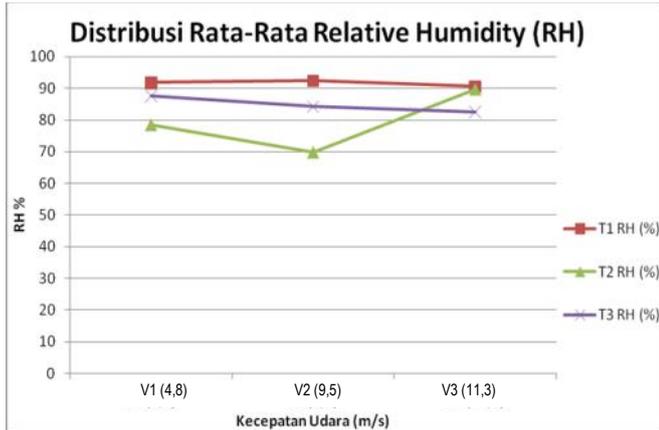
Pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 secara umum menunjukkan bahwa distribusi temperature bola kering udara dan temperature bola basah udara pada pengujian dengan tiga kecepatan aliran udara yang berbeda, terjadi penurunan temperatur yang sangat signifikan pada 5 menit awal pengujian untuk kecepatan aliran udara. Kemudian terjadi peningkatan temperature pada menit 40 – 60 dikarenakan berkurangnya massa dry ice. Pada Gambar 6 di atas menunjukkan distribusi rata – rata temperature bola kering udara dan bola basah udara pada pengujian selama 60 menit dengan tiga variasi kecepatan udara yang berbeda yang menunjukkan terjadinya penurunan temperature pada menit awal pengujian, yang kemudian mengalami peningkatan temperature bola kering udara dan temperature bola basah udara, karena begitu cepatnya dry ice yang mencair atau menguap yang menyebabkan meningkatnya temperature bola kering udara dan temperature bola basah tersebut. Dari pengolahan data diatas diperoleh juga data berupa kelembaban udara (RH) dari program psychometric chart. Kelembaban Udara (RH) merupakan kadar uap air yang ada di udara atau rasio antara tekanan uap air actual pada temperature tertentu dengan tekanan uap air jenuh pada temperatur tersebut.



Gambar 9. Grafik Distribusi Relative Humidity Pada Kecepatan udara V<sub>2</sub> (11,3 m/s)

Pada Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan grafik dari distribusi Relative Humidity (RH) pada pengujian dengan tiga kecepatan aliran udara yang berbedaselama 60 menit. Secara umum berdasarkan ketiga gambar tersebut diatas dapat dinyatakan bahwa terjadi penurunan tingkat kelembaban udara keluar pad (T3) yang lebih signifikan pada kecepatan aliran udara yang semakin meningkat. Hal ini disebabkan dengan semakin banyaknya kandungan uap air di udara yang mengalami kondensasi di permukaan luar pad pada kecepatan aliran udara yang lebih tinggi.

Pada Gambar 10 menunjukkan grafik dari distribusi rata-rata relative humidity (RH) pada pengujian dengan tiga kecepatan aliran udara yang berbeda beda disetiap variasi kecepatan selama 60 menit. Terjadi penurunan kelembaban udara sering meningkatnya kecepatan yang diberikan selama 60 menit. Penurunan yang sangat signifikan terjadi pada T1 dan T3 dengan kecepatan V<sub>1</sub> (4,8) dan V<sub>3</sub> (11,3 m/s) yang mencapai kelembaban udara rata – rata sebesar 87,6 % dan 82,5 %.



Gambar 10. Grafik Distribusi Rata-Rata Humidity (RH)

#### 4.2 Selisih Rata – Rata Penurunan Temperatur Bola Kering Udara ( $\Delta T_{dB}$ )

Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering Udara merupakan selisih antara temperatur bola kering udara memasuki sistem dengan temperatur bola kering udara keluar sistem. Berikut plot grafik karakteristik penurunan temperatur bola kering udara yang dihasilkan



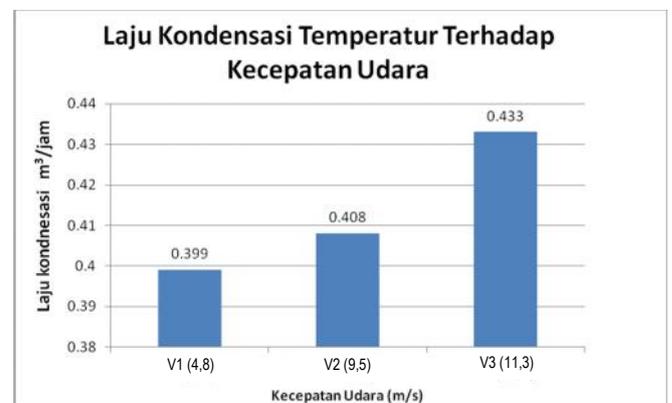
Gambar 11. Grafik Selisih Rata – Rata Penurunan Temperatur Terhadap Kecapatan Udara

Pada Gambar 11 menunjukkan grafik dari penurunan temperatur bola kering udara terhadap kecepatan aliran udara yang masing – masing diuji 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. Dapat dilihat penurunan temperature bola kering udara lebih besar terjadi pada kecepatan aliran udara 10 yang dimana kecepatan udaranya mencapai 4,8 m/s, hal ini 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. Kecepatan ini cocok digunakan pada ruangan yang tidak terlalu besar

dikarenakan kecepatan udaranya yang rendah, sehingga tidak memerlukan kecepatan yang tinggi untuk mendinginkan ruangan. Namun pada keadaan tertentu terjadi penurunan temperature bola kering udara yang lebih kecil pada kecepatan aliran udara V3 yang dimana kecepatan udaranya mencapai 11,3 m/s. Hal ini disebabkan 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.

#### 4.3. Laju Kondensasi

Kondensasi merupakan proses perubahan molekul di dalam keadaan cair dengan spontan menjadi gas (contohnya uap air). Besarnya laju penguapan yang terjadi dapat dihitung dengan perbedaan berat kapas setelah pengujian ( $m_a$ ) dengan berat kapas sebelum pengujian ( $m_{a0}$ ). Berikut plot grafik Laju penguapan yang dihasilkan.



Gambar 12. Grafik Laju Kondensasi Terhadap Kecepatan Udara

Pada Gambar 12 menunjukkan grafik laju kondensasi terhadap kecepatan aliran udara. Dari gambar tersebut diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi kecepatan aliran udara maka semakin tinggi laju kondensasi yang terjadi dikarenakan, semakin banyak kandungan uap air di udara yang terkondensasi pada permukaan luar pad. Pada kecepatan aliran udara yang tinggi, akan menyebabkan meningkatnya laju aliran massa udara, sehingga kandungan uap air udara juga semakin meningkat, akibatnya semakin banyak uap air yang terkondensasi. Terjadinya kondensasi disebabkan temperature permukaan luar pad yang jauh lebih rendah daripada temperature bola basah udara luar, dimana temperature bola basah udara masuk pad rata sebesar 27°C sedangkan temperature permukaan luar pad mencapai suhu 10°C.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian yang diambil maka dapat ditarik suatu kesimpulan: Selisih penurunan temperatur bola kering yang terjadi semakin besar pada

kecepatan aliran udara yang lebih rendah,  $V_1(4,8\text{m/s})$  dibandingkan dengan kecepatan aliran udara yang lebih tinggi  $V_3(11,3\text{m/s})$  Kelembaban udara pada kecepatan aliran udara yang lebih tinggi cenderung mengalami penurunan, karena semakin banyak uap air udara yang mengalami kondensasi di permukaan luar pad. Laju kondensasi semakin meningkat dengan meningkatnya kecepatan aliran udara.

#### Daftar Pustaka

- [1] Amer, O, dkk., 2015, *A Review of Evaporative Cooling Technologies*, International journal of environmental science development.
- [2] 1992, *ASHRAE Handbook of Fundamental*, Millstar Electronic Publish Group, Inc Budi Harjo, Nasaruddin, 1997, "*Teknik Pendingin*", Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- [3] Sumanto, 2004, *Dasar-Dasar Mesin Pendingin*, ITS Surabaya.
- [4] Aglawe. K. R, Matey M.S, Gudadhe N.P., 2013, *Experimental Analysis of Air Conditioner using Evaporative Cooling*, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) : 2278-0181.
- [5] Sato, Heiza, 1981, *Penyegar Udara*, Alih bahasa Aris Munandar, Wiranto, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- [6] Elgendy, E, dkk, 2014, *Performance Enchanment of a Decisccan Evaporative Cooling System Using Direct/Indirect Evaporative Cooler*.
- [7] <http://ptwhm.blogspot.com/2013/05/komponen-komponen-mesin-pendingin>



**KADEK NOVA ARIAWAN** menyelesaikan pendidikan Program Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana. Memulai pendidikan pada tahun 2011 hingga 2019. Topik Skripsi "Studi Laju Kodensasi dan Distribusi Kelembaban Udara *Dew Point Colling System* Pada *Solid Dry Pad* Susunan In-Line Dengan Volume Pengisian Tube 50%".