

Studi Laju Kondensasi Dan *Distribusi Kelembaban Udara* Pada In-Line Solid Dry Pad Dengan Rasio Pengesian Tube 75%

I Made Ari Artha Wibawa, Made Sucipta dan Hendra Wijaksana.
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Iklm Indonesia yang tropis banyak memerlukan sistim pendingin berbasis kompresor untuk bangunan-bangunan gedung. Hal ini memicu meningkatnya penggunaan energi bahan bakar fosil untuk memenuhi suplai energi listrik untuk sistim pendinginan tersebut. Penggunaan refrigerant pada sistim air conditioning (AC) juga menimbulkan dampak lingkungan yang cukup serius. Sebagai tindakan efisiensi energi, saat ini banyak peneliti mengembangkan sistim pendingin evaporative yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi. Dalam penelitian ini akan dipelajari laju kondensasi dan distribusi kelembaban udara pada sistim pendingin dew point indirect evaporative cooling berbasis solid dry pad. Pengujian performa tersebut dilakukan dengan pengaturan tiga variasi kecepatan aliran udara pada 4.8 m/s, 9.5 m/s dan 11.3 m/s, dengan selang waktu pengujian selama 60 menit, dimana pengambilan data dilakukan setiap 15 menit. Pencatatan temperature bola kering dan bola basah udara pada aliran udara masuk dan keluar solid dry pad sebagai TdB2; TwB2 dan TdB3; TwB3. Dari pengujian performa solid dry pad ini, didapat laju kondensasi tertinggi sebesar 0.451 m³/jam pada kecepatan aliran udara tertinggi 11.3 m/s dan laju kondensasi terendah terjadi pada kecepatan aliran udara terendah 4.8 m/s sebesar 0.407 m³/jam. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa laju kondensasi meningkat secara proporsional dengan meningkatnya kecepatan aliran udara.

Kata kunci : Laju kondensasi, solid dry pad, distribusi kelembaban udara

Abstract

Indonesia's tropical climate is much in need of a compressor-based cooling system for buildings. This discusses the use of fuel energy to meet energy needs. The use of coolants in air conditioning (AC) systems also has serious environmental impacts. As an energy saving measure, currently many researchers are developing evaporation cooling systems that are more environmentally friendly and energy efficient. In this research, the level of condensation and air distribution in the cooling point system of indirect evaporation based on solid dry pad based will be studied. This performance test is carried out by adjusting three variations of air flow velocity at 4.8 m / s, 9.5 m / s and 11.3 m / s, with an interval of 60 minutes of testing, while data collection is done every 15 minutes. The recording of the temperature of the dry and wet balls in the flow of air in and out of the dry solid pad as TdB2; TwB2 and TdB3; TwB3. From this dry pad performance, the highest condensation velocity is obtained at 0.451 m³ / hour at the highest air flow velocity of 11.3 m / s and the lowest condensation speed at the lowest air flow velocity of 4.8 m / s at 0.407 m³ / hour. Thus it can be concluded that the speed increases proportionally with the increase in air flow velocity.

Keywords: Condensation rate, solid dry pad, air humidity distribution

1. Pendahuluan

Keberadaan negara kita sebagai negara yang memiliki iklim tropis mendorong meluasnya penggunaan sistim pendingin yang berbasis kompresor. Penggunaan sistim pendingin air conditioning (AC) yang luas tersebut, pastinya akan memerlukan jumlah energy input yang lebih besar, dimana penggunaan energy listrik untuk bangunan-bangunan gedung atau hotel hamper sebagian besar sekitar 60% untuk mengoperasikan sistim pendingin AC. Sistim AC pada pengoperasiannya memang sangat mampu memenuhi standar kenyamanan yang dibutuhkan untuk bangunan gedung komersial dengan standar temperature 22°C-25°C dan kelembaban relatif udara (*Relative Humidity*) 40%-60%. (ASHRAE standart 62-1989 ASHRAE, Washington DC (1989)). Di sisi lain penggunaan refrigerant pada AC yang meluas dapat menimbulkan dampak lingkungan yang kurang menguntungkan, dimana akan semakin meningkatnya pemanasan global. Sehubungan dengan hal tersebut diatas maka dalam penelitian ini akan dikaji sistim pendinginan

evaporative, lebih tepatnya sistim pendingin dew point indirect evaporative cooling (DP-IEC), yang lebih hemat energy, ramah lingkungan dan konstruksinya lebih sederhana dari pada sistim pendingin AC yang berbasis kompresor. dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian sistim DP-IEC dengan menggunakan dry ice sebagai media pendingin pad, yang dalam hal ini disebut sebagai solid dry pad (SDP). Konstruksi sistim pendingin DP-IEC yang berbasis solid dry pad (SDP) ini adalah terdiri dari barisan pipa-pipa yang diatur sejajar (in-line), kemudian kedalam pipa-pipa tersebut akan dimasukkan dry ice yang memiliki temperature ekstrim sekitar -78°C sehingga akan mampu memberikan efek pendinginan pada permukaan luar pipa, yang nantinya akan mengalami kontak dengan udara luar yang akan didinginkan. Dengan temperature ekstrim dry ice tersebut, maka temperature permukaan pipa jauh lebih rendah dari temperature bola basah dan bola kering udara, sehingga diharapkan udara akan mengalami penurunan temperature dan kandungan uap air udara,

dengan terjadinya kondensasi pada permukaan luar pipa. Sistem DPCS dalam penelitian ini adalah barisan pipa-pipa yang kedalamnya dimasukkan dry ice dalam prosentase pengisian tertentu, selanjutnya disebut Solid Dry Pad (SDP)[1], yang nantinya akan dapat menangani beban panas sensible dan laten udara tanpa memerlukan masukan energi listrik untuk kompresor. Sistem tersebut diatas nantinya diharapkan mampu menangani beban sensible dan beban laten udara yang didinginkan secara simultan dengan asupan energy input rendah. Berangkat dari pemaparan diatas maka penulis akan melakukan penelitian dengan topik : Studi Laju Kondensasi dan Distribusi Kelembaban Udara pada In-Line Solid Dry Pad dengan Rasio Pengisian Tube 75% .

2. Dasar Teori

2.1. Dew Point Evaporative Cooler

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. Perpindahan panas sensibel terjadi karena perbedaan suhu dan panas laten terjadi dari perpindahan massayang dihasilkan dari penguapan sebagian dari air yang bersirkulasi dan temperatur bola kering udara akan menurun dalam proses ini. Apabila selang waktu kontak air dan udara mencukupi, maka udara akan mencapai kondisi saturasi. Ketika kondisi equilibrium tercapai, temperatur air turun hingga sama dengan temperatur bola basah udara. Secara umum akan diperoleh bahwa temperatur bola basah udara sebelum dan sesudah proses adalah sama karena proses semacam ini terjadi di sepanjang garis bola basah (T_{WB}) yang konstan.[2]

2.2. Karakteristik Bahan *Evaporative Cooling Pad*

Jenis yang paling banyak digunakan bahan pada dalah selulosa bergelombang yang telah diresapi dengan bahan zat pembasah dan garam larut agar tidak mengalami pembusukan. Pads ini melakukan kerja pendingin udara yang sangat baik, tentunya dengan perawatan yang tepat. Pads yang bergelombang akan tahan lama. Pads Aspen biasa digunakan di masa lalu dan masih hingga sekarang. Namun, di Florida umur pada spen biasanya pendek. Aspen Pads sangat rentan terhadap gangguan kutu yang mengarah ke pembusukan dan pemadatan. Hal ini membuat sulit untuk tetap beroperasi secara efisien[3]

2.3. Suhu Udara Nyaman (*Thermal Comfort*)

Cara yang paling murah memperoleh kenyamanan *thermal* adalah menggunakan *evaporative cooler* yang jauh lebih rendah mengkonsumsi daya listrik sehingga sangat ideal dalam penggunaannya. Sejalan dengan teori Humphreys dan Nicol, Lipsmeier (1994) menunjukkan beberapa penelitian

yang membuktikan batas kenyamanan (dalam Temperatur Efektif/TE) berbeda-beda tergantung kepada lokasi geografis dan subyek manusia [4].

2.4 Performansi Pendinginan *Evaporative*

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.

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

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

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

$T_{dB,i}$ = TdB yang memasuki sistem.

$T_{dB,o}$ = TdB yang keluar sistem.

$T_{WB,i}$ = T_{WB} yang memasuki sistem.

Untuk menentukan kapasitas pendinginan sensibel dapat dihitung dengan persamaan berikut dalam satuan (KW).

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

Energy Efficiency Ratio merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan sensibel dengan jumlah konsumsi energi pendinginan.

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

Q = laju aliran volume udara, m³/s.

ρ = massa jenis udara, kg/m³

C_p = panas spesifik udara kJ/kg.K

P_i = konsumsi energy pendinginan, kW [2].

2.5. Laju penguapan/*Evaporasi*

Penguapan atau evaporasi adalah proses perubahan molekul didalam keadaan cair (contohnya air) dengan spontan menjadi gas (contohnya uap air). Proses ini adalah kebalikan dari kondensasi. Besarnya laju penguapan yang terjadi dapat dihitung dengan perbedaan ketinggian air pada reservoir atau dengan perbedaan massa alat sebelum (ma_0) dan sesudah (ma) penelitian dilakukan seperti berikut:

$$Er = \frac{(m_0 - m_a) / \rho_{air}}{t} = \frac{(m_0 - m_a) / 1000 \text{ kg/m}^3}{t} = \text{(liter/jam)} \quad (5)$$

Er = Laju Penguapan (liter/jam)

ρ_{air} = Massa jenis air, kg/m³

t = Waktu penelitian (Jam)

m_{a0} = Massa alat sebelum pengujian (Kg)

m_a = Massa alat setelah pengujian (Kg)

3. Metode Penelitian

3.1. Variabel bebas Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan ditentukan dalam sebelum penelitian, diantaranya, Kecepatan Udara yang digunakan : Kecepatan I yaitu: 4.8 m/s, Kecepatan II yaitu: 9.5 m/s, Kecepatan III yaitu: 11.3 m/s,

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan

diketahui setelah penelitian, yakni: Performa Laju Kondensasi dan Distribusi Kelembaban Udara

3.2. Alat dan Bahan

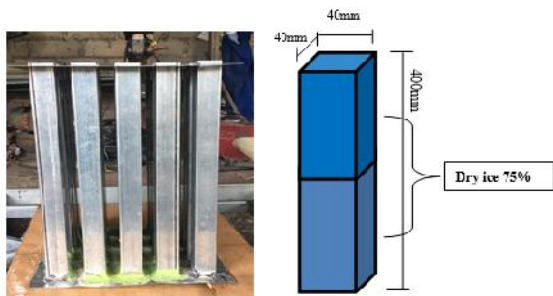
Peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam melakukan percobaan dan penelitian adalah, fan, thermometer, termokapel, stopwatch, manometer, dry ice, timbangan, anometer, kapas.

3.3. Variasi Kecepatan Udara

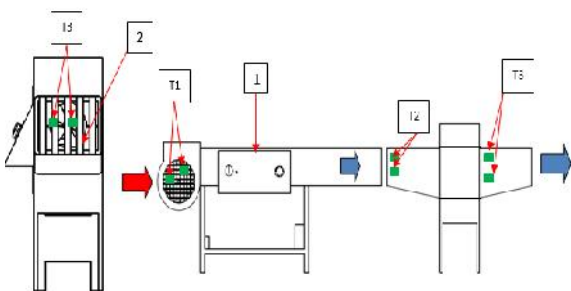
Kecepatan udara yang digunakan dalam penelitian ini akan divariasikan dengan sistem saklar dengan kecepatan udara 10, 30 dan 50 pada fan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kecepatan aliran udara terhadap performa sistem pendingin dew point yang dihasilkan. Kecepatan udara I (10 Regavolt) = 4,8 m/s, kecepatan udara II (30 Regavolt) = 9,5 m/s, kecepatan udara III (50 Regavolt) = 11,3 m/s.

3.4. Pemodelan Pengujian.

Untuk mempermudah pengujian *dew point cooling system* maka dibuat pemodelan alat seperti gambar berikut ini:



Gambar 2. Solid Dry Pad dengan pengisian tube dry ice 75%



Gambar 3 Model Skematik Pengujian

Keterangan gambar:

1. Mechanical Fan
2. Solid Dry Pad

T₁ = Temperatur udara masuk fan (udara sekitar)

T₂ = Temperatur udara masuk pads (setelah fan)

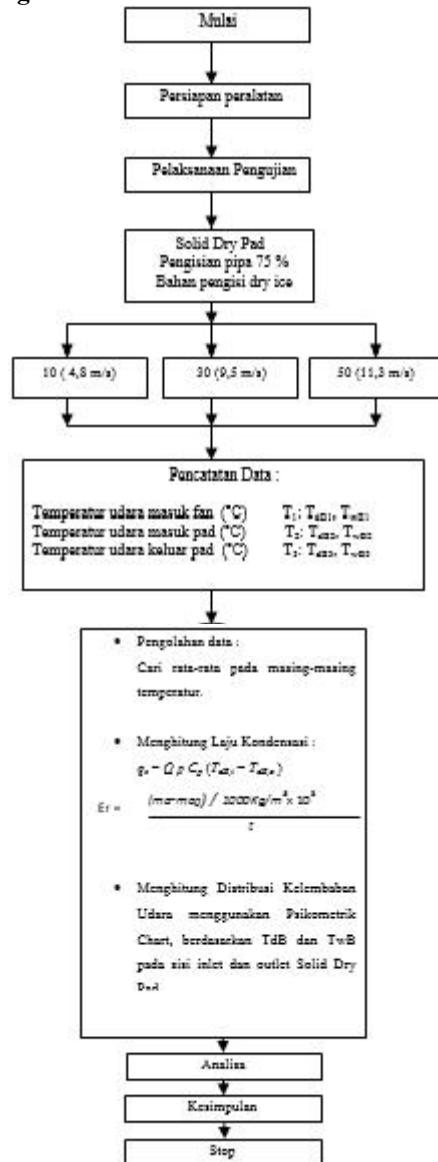
T₃ = Temperatur udara keluar pads.

3.5. 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: siapkan peralatan dan perlengkapan yang akan digunakan, pasang thermometer bola kering dan thermometer bola basah di tempat yang telah ditentukan, Atur putaran fan pada kecepatan I 10 (4,8 m/s), Pasang solid dry pad dengan pengisian dry ice 75%, susunan in-line, Setelah sistem 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 60 menit, Lakukan pengulangan b - d untuk kecepatan II 30 (9,5 m/s) dan kecepatan III 50 (11,3 m/s), Lakukan pengujian untuk masing-masing putaran fan sebanyak 3 kali, Analisa hasil pengujian.

3.6. Diagram Alir Penelitian

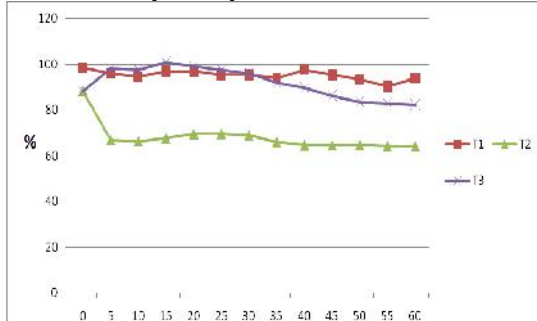


Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

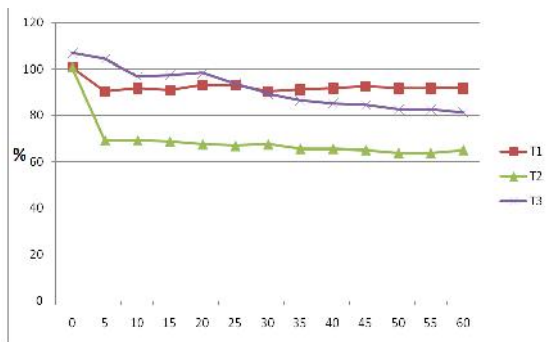
4. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan di atas diperoleh hasil yang dibuat dalam grafik hasil pengujian.

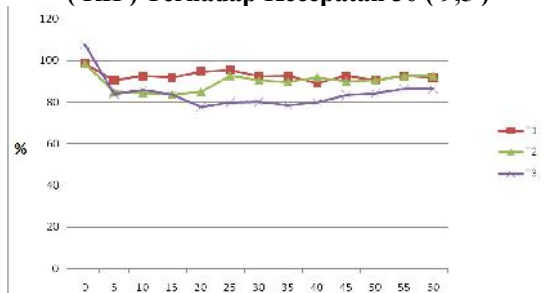
4.1. Grafik Distribusi Kelembaban Relatif (RH) Terhadap Kecepatan



Gambar 5 Grafik Distribusi Kelembaban Relatif (RH) Terhadap Kecepatan 10 (4,8)



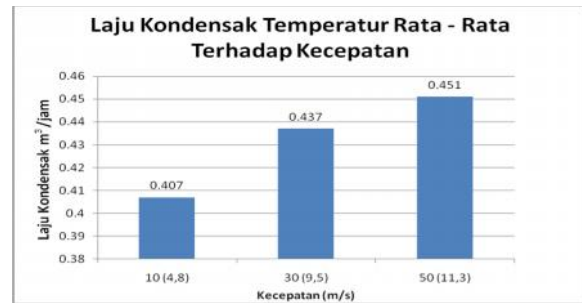
Gambar 6. Grafik Distribusi Kelembaban Relatif (RH) Terhadap Kecepatan 30 (9,5)



Gambar 7. Grafik Distribusi Kelembaban Relatif (RH) Terhadap Kecepatan terhadap kecepatan 50(11,3)

Pada gambar grafik 5, 6 dan, 7 menunjukkan distribusi relative humidity (RH) dengan tiga kecepatan aliran udara yang berbeda V1, V2, V3, dapat dilihat pada grafik tersebut diatas bahwa tingkat kelembaban udara keluaran pad cenderung semakin menurun dengan semakin meningkatnya kecepatan aliran udara, terutama pada menit-menit akhir pengujian. Hal ini dikarenakan pada kecepatan aliran udara yang lebih tinggi, kandungan uap air udara akan mengalami kondensasi yang lebih tinggi daripada pada kecepatan aliran udara yang lebih rendah.

4.2. Laju Kondensasi



Gambar 8 Grafik Laju Kondensasi Rata - Rata Terhadap Kecepatan udara (m/s)

Dari gambar 8 menunjukkan grafik laju kondensasi terhadap kecepatan aliran udara. Pada kondisi putaran yang diuji dimana, semakin kecil kecepatan aliran udara maka semakin kecil laju pengembunan yang terjadi dikarenakan, kecepatan aliran udara yang lebih rendah membutuhkan waktu yang lama untuk mengembun dibandingkan dengan kecepatan aliran udara yang lebih tinggi. didalam grafik dapat dilihat perbedaan laju pengembunan antara ketiga laju alir terhadap kecepatan aliran udara. Sehingga terlihat perbedaan berat kapas setelah pengujian.

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Kecepatan aliran udara yang lebih tinggi V3(11.3 m/s) menghasilkan laju kondensasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan aliran udara yang lebih rendah V2 (9.5 m/s) dan V1 (4.8 m/s) dikarenakan pada kecepatan aliran udara yang lebih tinggi, akan lebih banyak uap air pada udara yang mengalami pengembunan.
2. Kelembaban udara cenderung mengalami penurunan pada kecepatan aliran udara yang lebih tinggi, karena juga semakin banyak uap air udara yang mengalami kondensasi di permukaan luar pad

Daftar Pustaka

- [1] Pande Juniarta, 2014, *Study Eksperimental Performansi Pendingin Evaporative Portable Dengan Pad Berbahan Sumbu Kompur Dengan Ketebalan Berbeda*, Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika Vol. 1 No. 1, September 2014.
- [2] Harris, Norman C., 1991, *Modern Air Conditioning Practice*, McGraw-Hill, inc.
- [3] Karpiscak, Martin; G.W. France, T.M. Babcock, and H. Johnson, 1994. *Temperatur-Bola-Basah-dan-Kering*.
- [4] Handoyo, Ekadewi A. Julianingsih, Suprianto, Fandi D., Tanrian, Albert,

Wibowo, Wirawan, 2005, *Peningkatan Unjuk Kerja Dan Studi Kelayakan Peralatan Evaporative Cooling*. Seminar Nasional *Research and Studies V*. Yogyakarta. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi–Dept. Pendidikan Nasional.



I Made Ari Artha Wibawa menyelesaikan studi program sarjana di program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dengan topik penelitian Studi Laju Kondensasi Dan Distribusi Kelembaban Udara Pada in-line Solid Dry Pad Dengan Rasio Pengisian Tube 75%.