

Study Eksperimental Penggunaan Dry Ice Untuk Konfigurasi Staggered Dengan Massa Pengisian Tube 100% Terhadap Performansi Dew Point Cooling System

Komang Mas Gelgel, Hendra Wijaksana, dan I N. Suarnadwipa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Globalisasi memungkinkan semua berkembang begitu cepat dan membawa dampak yang begitu cepat bagi kelangsungan hidup manusia. Salah satu dampak yang ditimbulkan yaitu pemanasan global. Bali merupakan tujuan pariwisata dunia, dimana investor dan pengusaha berlomba-lomba membangun fasilitas-fasilitas penunjang bagi wisatawan yang tentunya dilengkapi dengan mesin pengkondisian udara. Penggunaan mesin pengkondisian udara ini akan menambah pemanasan global. Dengan permasalahan di atas dibutuhkan mesin pengkondisian udara yang hemat energi dan ramah lingkungan yaitu dew point evaporative cooling. Dew point evaporative cooling merupakan proses pendinginan dengan mengontakkan langsung udara pada media pad. Penelitian ini menggunakan pad konfigurasi staggered dengan jumlah 32 batang yang berisikan dry ice. Dry ice dimasukkan ke dalam pad dengan panjang pipa 400 mm dengan massa pengisian dry ice 100%. Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa dew point cooling sistem, yang meliputi penurunan bola kering udara, efektifitas pendinginan, kapasitas pendinginan, pressure drop dan EER. Variabel yang diukur pada penelitian ini adalah variasi kecepatan aliran udara dengan $V_1 = 4,8$ m/s, $V_2 = 9,5$ m/s, dan $V_3 = 11,3$ m/s. Dari penelitian ini didapat penurunan temperatur bola kering (ΔTdB) lebih signifikan terjadi pada kecepatan aliran udara rendah 4,8 m/s dengan selisih penurunan temperatur udara masuk Tin dan Tout sebesar 6,09 oC. Sedangkan pada kecepatan aliran udara tinggi 11,3 m/s terjadi penurunan temperatur udara masuk Tin dan Tout sebesar 3,65 oC dengan proses pendinginan dan dehumidifikasi.

Kata kunci: evaporative cooling, dew point, temperatur

Abstract

Globalization allows all to evolve so rapidly and bring such a fast impact as well for human survival. One of the impacts is global warming. Bali is a tourism destination of the world, where investors and entrepreneurs are competing to build supporting facilities for tourists who are certainly in the air conditioning machine. Use of this air conditioning machine will add to global warming. With the above problems needed an energy-efficient and environmentally-friendly air conditioning machine is dew point evaporative cooling. Dew Point Evaporative Cooling is a process of cooling by directly contacting the air on the media pad. The study used a staggered configuration pad with a total of 32 rods containing dry ice. Dry ice is inserted into the pad with a pipe length of 400 mm with a mass charging dry ice 100%. The test was done to find out the performance dew point cooling system, which includes a decrease in air dry balls, the effectiveness of cooling, cooling capacity, pressure drop and EER. The variables measured in this study were variations in air flow velocity with $V_1 = 4.8$ m/s, $V_2 = 9.5$ m/s, and $V_3 = 11.3$ m/s. From this study gained a decrease in dry ball temperature (ΔTdB) significantly occurred at low air flow speeds of 4.8 m/s with a decrease in the air temperature drop in Tin and Tout of 6.09 oC. While at high airflow speed of 11.3 m/s occurred decrease in air temperature in Tin and Tout of 3.65 oC with cooling process and dehumidification.

Keywords: evaporative cooling, dew point, temperature

1. Pendahuluan

Globalisasi merupakan koneksi global ekonomi, sosial, budaya dan politik yang semakin mengarah ke berbagai arah ke seluruh penjuru dunia dan masuk ke dalam kesadaran kita [1]. Pada umumnya, dampak globalisasi telah mempengaruhi berbagai aspek kehidupan dan tingkah laku manusia, mulai dari pola hidup dan perekonomian yang menginginkan sesuatu yang serba instan.

Lingkungan alam dan iklim sangat berpengaruh terhadap wilayah sebagai daerah kunjungan wisata. Salah satu tujuan pariwisata dunia adalah pulau Bali. Dengan meningkatnya kunjungan wisatawan yang datang ke Bali, banyak investor dan pengusaha membuat fasilitas-fasilitas hotel, villa, penginapan, dan mall. Fasilitas-fasilitas ini tentunya dilengkapi

dengan pendingin udara atau air conditioning. Penggunaan air conditioning ini menyebabkan pemanasan global semakin tinggi. Efek lain dari penggunaan mesin ini menyebabkan konsumsi energi yang tinggi sehingga tidak bekerja maksimal pada suhu yang panas. Evaporative cooling merupakan proses pengkondisian udara yang menggunakan penguapan air untuk mendinginkan aliran udara secara langsung maupun tidak langsung sehingga temperatur dry-bulb maupun temperatur akhir wet-bulb menjadi lebih rendah.

Berdasarkan permasalahan diatas, bagaimanakah pengaruh penggunaan dry ice untuk konfigurasi staggered dengan massa pengisian tube 100% terhadap performansi dew point cooling system.

Dengan batasan pengujian dilakukan di dalam ruangan dan udara lingkungan konstan.

2. Dasar Teori

Dew point evaporative cooler adalah proses pendinginan dengan prinsip *evaporative cooling*. Dimana dalam proses ini udara langsung dikontakkan dengan media pad yang dingin sehingga terjadi perubahan dari panas.

Penggunaan dry ice sebagai bahan pengisi pad mempunyai sifat penguapan sangat baik dan mempunyai suhu yang sangat dingin yaitu : -78,5°C atau -109,3°K, seperti pada gambar 1.



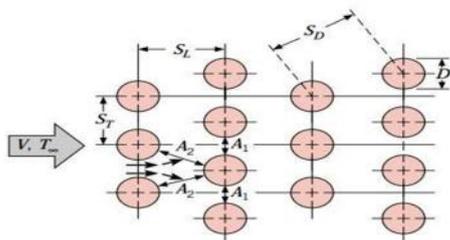
Gambar 1. Karbon Dioksida Padat (*Dry Ice*)

Suhu udara nyaman menurut standar tata cara perancangan pada gedung yang diterbitkan oleh yayasan LPMB-PU membagi suhu nyaman untuk orang Indonesia atas tiga bagian sebagai berikut :

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	

Kemampuan melepas panas 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. Salah satu tipe susunan tube alat penukar kalor.

Koefisien untuk baris pertama kira-kira sama dengan tabung tunggal dalam aliran silang, sedangkan koefisien perpindahan panas yang lebih besar dikaitkan dengan tabung dari baris dalam. Tabung dari baris pertama bertindak sebagai grid turbulensi, yang meningkatkan koefisien perpindahan panas untuk tabung di baris berikutnya[3].

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

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

$$Re_{D,max} = \frac{\rho V_{max} D}{\mu} \quad (2)$$

Bilangan reynolds maks di dapat berdasarkan kecepatan fluida maksimum yang terjadi dalam tube.

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V \quad (3)$$

Ketika fluida bergerak melalui tube, laju perpindahan panas bisa secara signifikan diprediksi dengan menggunakan $\Delta T = T_s - T_\infty$ sebagai perbedaan suhu dalam hukum newton.

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_o)}{\ln(T_s - T_i) / (T_s - T_o)} \quad (4)$$

Dimana T_i dan T_o adalah suhu fluida saat memasuki dan meninggalkan tabung. Suhu luar yang diperlukan untuk menentukan ΔT_{lm} dapat diperoleh dari :

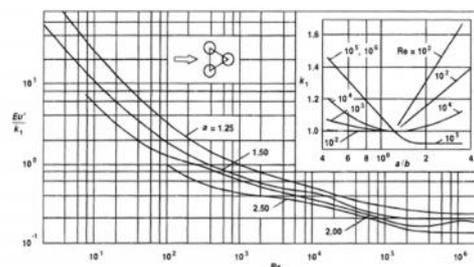
$$\frac{T_s - T_o}{T_s - T_i} = \exp\left(-\frac{\pi D N h}{\rho V N_T S_T c_p}\right) \quad (5)$$

Dimana N merupakan jumlah total tabung dan N_T adalah jumlah tabung dibidang transversal. Setelah ΔT_{lm} diketahui, laju perpindahan per satuan panjang tabung dapat dihitung.

$$q' = N(h\pi D \Delta T_{lm}) \quad (6)$$

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

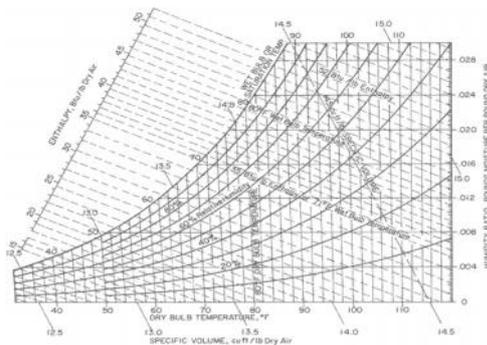
$$\Delta p = N_L X \left(\frac{\rho V^2_{max}}{2} \right) f \quad (7)$$



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

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 (*Relative 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* [4].



Gambar 4. Psychrometric Chart

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 [5].

$$\Delta T_{dB} = T_{dB,i} - T_{dB,o} \quad (8)$$

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. (Harris, 1991)

$$\epsilon = \frac{T_{dB,i} - T_{dB,o}}{T_{dB,i} - T_{WB,i}} \quad (9)$$

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 :

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

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

$$EER = \frac{\dot{m} C_p (T_{dB,i} - T_{dB,o})}{P_t} \quad (11)$$

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

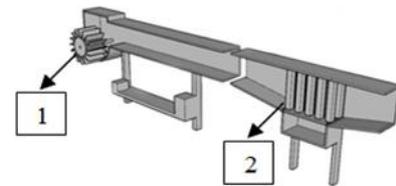
Kecepatan aliran udara divariasikan menjadi 3 yaitu :

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

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

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

Pada gambar 5 dibawah ini merupakan desain alat dari pengujian.

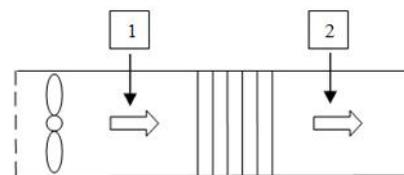


Keterangan Gambar:

1. Fan.
2. Solid Dry Pad

Gambar 5. Desain Dew Point Cooling Pad

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

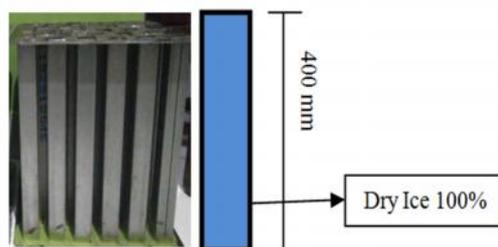


Keterangan gambar :

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 massa Pengisian 100%

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 8 sampai dengan gambar 16 yang menunjukkan sebuah grafik hasil pengujian.

Dari gambar 8 menunjukkan grafik penurunan temperatur bola kering udara terhadap kecepatan aliran udara yang masing-masing diuji selama 60 menit dimana, terjadi penurunan ΔT_{dB} seiring meningkatnya kecepatan aliran udara yang diberikan.

Pada kecepatan aliran udara 4,8 m/s mengalami penurunan temperature bola kering paling besar, hal ini disebabkan karena proses pendinginan udara pada pad terjadi lebih lama. Namun pada kecepatan aliran udara 9,5 m/s dan 11,3 m/s mengalami penurunan

temperature bola kering yang hamper sama. Ini disebabkan karena pada saat terjadinya pendinginan udara pada pad terjadi lebih singkat.

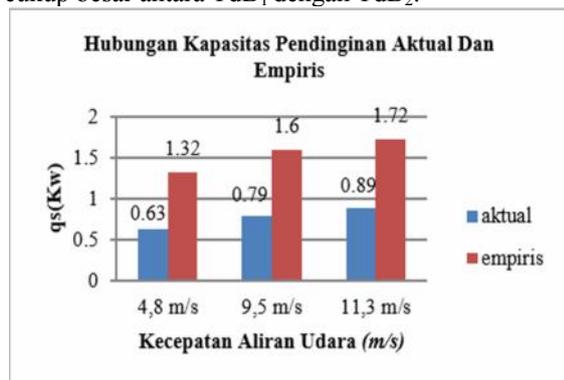


Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Selisih Rata-Rata Penurunan Temperatur Terhadap Kecepatan Aliran Udara



Gambar 9. Grafik Efektifitas Pendinginan (ϵ) Terhadap Kecepatan Udara (m/s)

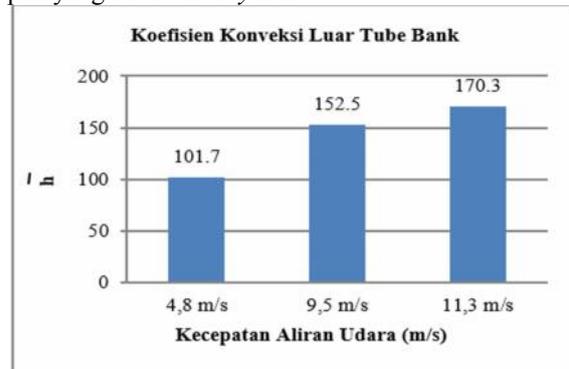
Dari gambar 9 menunjukkan grafik Efektifitas pendinginan (ϵ) terhadap kecepatan aliran udara yang diberikan selama 60 menit. Terjadi penurunan efektifitas pendinginan seiring meningkatnya kecepatan aliran udara yang diberikan. Hal ini dipengaruhi oleh penyerapan sebagian panas udara oleh pad yang sangat dingin sehingga terjadi selisih cukup besar antara T_{dB1} dengan T_{dB2} .



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

Dari gambar 10 merupakan grafik kapasitas pendinginan aktual dan empiris terhadap kecepatan aliran udara selama 60 menit. Kapasitas pendinginan meningkat seiring dengan kecepatan aliran udara yang digunakan. Hal ini dikarenakan kecepatan

udara yang tinggi akan memperbesar selisih antara T_{dB1} dengan T_{dB2} dimana, penurunan temperatur bola kering udara terjadi lebih besar karena banyaknya udara panas yang mampu digunakan oleh pad yang berisikan *dry ice*.



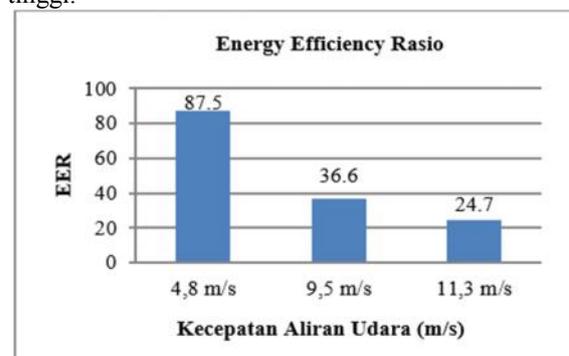
Gambar 11. Grafik Koefisien Konveksi Luar Tube Bank (h) Terhadap Kecepatan Aliran Udara (m/s)

Pada gambar 11 menunjukkan grafik koefisien konveksi luar tube bank terhadap kecepatan aliran udara yang diberikan selama 60 menit dimana, terjadi peningkatan koefisien konveksi seiring meningkatnya kecepatan aliran udara. Hal ini dipengaruhi oleh nilai dari Nusselt number pada masing – masing kecepatan.



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

Pada gambar 12 menunjukkan grafik dari pressure drop terhadap kecepatan aliran udara, semakin tinggi kecepatan aliran udara maka pressure drop yang terjadi juga semakin tinggi. Ini disebabkan karena gaya gesek antara udara dan media pad juga tinggi.

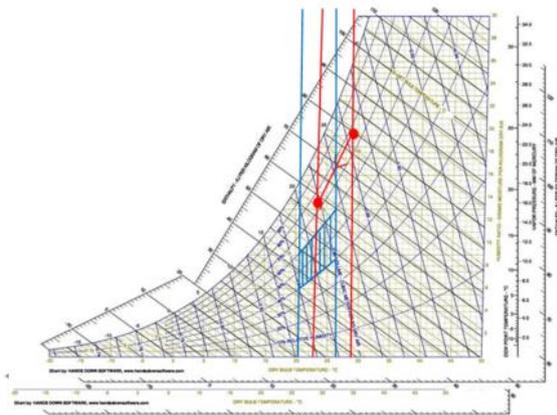


Gambar 13. Grafik Energy Efficiency Rasio Terhadap Kecepatan Aliran Udara (m/s)

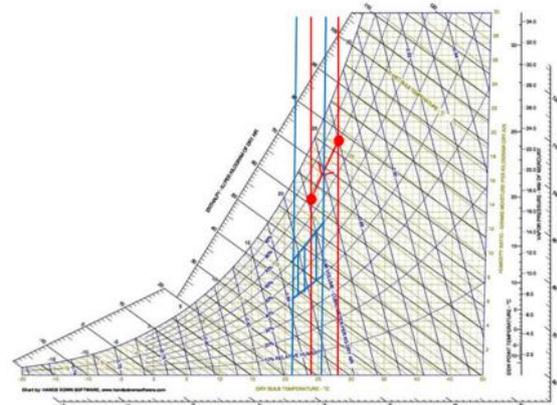
Dari gambar 13 menunjukkan grafik Energy Efficiency Ratio (EER) terhadap kecepatan aliran udara yang diuji selama 60 menit. Pada grafik EER merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan dengan jumlah konsumsi energi pendinginan yaitu, dengan daya fan yang bervariasi sehingga, memperoleh hasil yang 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 100% yang temperaturnya sangat rendah dan dry ice yang cepat menguap dan daya fan yang dibutuhkan lebih besar.

Grafik Psychrometri

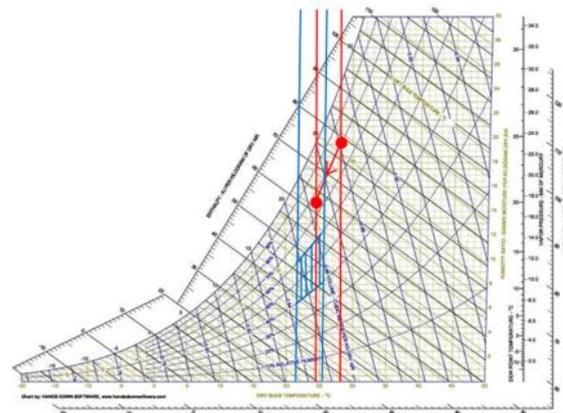
Grafik Psychrometri merupakan grafik untuk mengetahui kajian mengenai sifat-sifat campuran udara dan uap air, dengan mengetahui T_{in} (T1) dan T_{out} (T2) untuk memudahkan mencari titik pada diagram psychrometri chart, seperti pada gambar 14 sampai dengan gambar 16.



Gambar 14. Grafik Psychrometri pada kecepatan udara 4,8 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.



Gambar 15. Grafik Psychrometri pada kecepatan udara 9,5 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.



Gambar 16. Grafik Psychrometri pada kecepatan udara 11,3 m/s, udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai *study experimental penggunaan dry ice untuk konfigurasi staggered dengan massa pengisian 100% terhadap performansi dew point cooling system* dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Selisih penurunan temperatur bola kering (ΔT_{dB}), efektivitas pendinginan, dan EER paling besar terjadi pada kecepatan 4,8 m/s yaitu sebesar 6,09 °C, 2,21, 87,5.
2. Pada kecepatan 11,3 m/s memiliki kapasitas pendinginan, koefisien konveksi, pressure drop paling besar yaitu 0,89 Kw, 170,3 W/m².K, 11,79 x 10⁻³ bars.
3. Dari grafik psychrometric di setiap variasi kecepatan aliran udara mengalami proses pendinginan dan dehumidifikasi.

Daftar Pustaka

- [1] Anton, Barker, 2004, *Alternatif pengembangan Masyarakat Di Era Globalisasi*, Jakarta: Kanisius.
- [2] Sitompul, Tunggul M., 1992, *Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- [3] Incopera, Frank P dan David P. De Witt, 1990, *Introduction To Heat Transfer Second Edition*.
- [4] I Nyoman Suryana, I Nengah 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.
- [5] Putra Toni Dwi, dan Finahari Nurida, 2011, *Pengaruh Perubahan Temperatur Media*

Pendingin Pada Direct Evaporative Cooler,
Jurnal Proton, Vol. 3, No 1.

- [6] Effatnejad R, Salehian A.B., 2009, *Standard of Energy Consumption And Energy Labeling In Evaporative Air Cooler in Iran,* Jurnal IJTPE, Volume 1, No 1.



Komang Mas Gelgel telah menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin. Pada tahun 2020

Bidang penelitian yang penulis minati adalah materi yang berkaitan dengan konversi energi dan pengkondisian udara.