

Studi Experimental Proses Termodinamika Udara Pada Pendinginan Indirect Evaporative Cooling Berbasis In-Line Solid Dry Pad.

A A Made Arie Prastyo, Hendra Wijaksana, N. Suarnadwipa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kebutuhan akan sistem pendingin yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan, sesuai dengan program green and clean energy yang dicanangkan banyak negara, telah mendorong dilakukannya pengembangan terhadap sistem pendingin evaporative. Sistem indirect evaporative cooling adalah salah satu sistem pendingin evaporative yang mendinginkan udara melalui proses evaporasi dan tanpa adanya kontak langsung udara dan air. Dalam penelitian ini akan dikaji proses termodinamika udara yang terjadi pada sistem indirect evaporative cooling berbasis solid dry pad. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian proses termodinamika udara yang terjadi pada variasi prosentase volume pengisian solid dry pad 50% (320 cm³), 75% (480 cm³) dan 100% (640 cm³). Kecepatan aliran udara diatur konstan pada 11.3 m/s. Pencatatan data yang dilakukan termasuk didalamnya temperature bola basah (TwB) dan bola kering (TdB) udara masuk dan keluar solid dry pad. Selanjutnya dilakukan penentuan penurunan temperature bola kering dan penurunan kelembaban relative udara keluar solid dry pad serta penentuan proses termodinamika yang terjadi pada udara yang melewati solid dry pad menggunakan psychrometric chart.. Sebagai hasil penelitian didapat bahwa penurunan temperature bola kering rata-rata (pendinginan) yang tertinggi dicapai pada prosentase volume pengisian solid dry pad 100% (640 cm³) yakni sebesar 2.35°C dan terendah terjadi pada volume pengisian 50% (320 cm³) yakni sebesar 1.45°C. Sedangkan Penurunan kelembaban relative rata-rata (dehumidifikasi) yang tertinggi dicapai pada prosentase volume pengisian solid dry pad 100% (640 cm³) sebesar 11.0%, dan yang terendah terjadi pada volume pengisian 50% (320 cm³) yakni sebesar 8.1%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa proses termodinamika yang terjadi akibat variasi ketiga prosentase volume pengisian solid dry pad adalah pendinginan dan dehumidifikasi dan prosentase volume pengisian solid dry pad sangat berpengaruh terhadap tingkat pendinginan dan dehumidifikasi yang terjadi pada udara yang melewati solid dry pad.

Kata kunci : Proses termodinamika udara, indirect evaporative cooling, in-line solid dry pad, pendinginan dan dehumidifikasi.

Abstract

Electrical energy needs and environmental impacts caused by the increasingly widespread use of compressor-based air conditioning (AC) systems, has led to the development of an evaporative cooling system that is more energy efficient and environmentally friendly, with sufficient cooling efficiency. The indirect evaporative cooling system is one of the evaporative cooling systems which cools the air through the evaporation process and without direct contact with air and water. This research will study the air thermodynamic process that occurs in the indirect evaporative cooling system based on in-line solid dry pad. In this study, an air thermodynamic process was tested which occurred in the variation of the volume of the filling of solid dry pad 50% (320 cm³), 75% (480 cm³) and 100% (640 cm³). The air flow velocity that passes through the solid dry pad is set at a constant speed of 11.3 m / s. Data recording included wet ball temperature (TwB) and dry ball (TdB) air in and out of the solid dry pad. Next, determine the decrease in dry ball temperature and decrease the relative humidity of the air coming out of the solid dry pad. By plotting wet and dry ball temperature data on a psychrometric chart, the thermodynamic process that occurs in the air passing through the solid dry pad will be determined. As a result of the study it was found that the highest decrease in dry ball temperature (cooling) was achieved at the percentage of solid dry pad 100% (640 cm³) filling volume which was 2.35oC and the lowest occurred at 50% (320 cm³) fill volume which was 1.45 oC. While the highest average relative humidity reduction (dehumidification) was achieved at the percentage of solid dry pad 50% (320 cm³) filling volume by 8.1%, and the lowest occurred at 100% (640 cm³) filling volume of 3.4%. Thus it can be concluded that the thermodynamic process that occurs due to variations in the three percentages of solid dry pad filling volume is cooling and dehumidification and the percentage of solid dry pad filling volumes is very influential on the cooling rate and dehumidification that occurs in the air that passes through the solid dry pad.

Keywords: Air thermodynamic processes, indirect evaporative cooling, in-line solid dry pad, prepared and dehumidified

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara tropis dengan iklim yang panas dan lebab, dimana suhu udara rata-rata 30-35 °C dengan kelembaban relatif antara 70-80%. Untuk mendapatkan kenyamanan udara diperlukan sistem pendingin AC yang berbasis kompresor. Sistem AC ini cukup tinggi kebutuhan energi listriknya dan

penggunaan refrigerant juga dapat merusak lingkungan. Banyak peneliti yang banyak mencari sistem pendingin alternative yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan, diantaranya adalah sistem pendingin evaporative. Kebanyakan sistem pendingin evaporative, baik yang direct evaporative cooling maupun yang indirect evaporative

cooling menghasilkan selisih penurunan temperatur bola kering (efek pendinginan) dan kelembaban relative (efek dehumidifikasi) yang belum begitu signifikan. Berdasarkan kondisi diatas maka dalam penelitian ini, saya terdorong untuk melakukan penelitian tentang sistim pendingin indirect evaporative cooling yang berbasis solid dry pad, yang diharapkan mampu memberikan performa pendinginan dan dehumidifikasi yang lebih tinggi.

2. Dasar Teori

2.1 Indirect Evaporative Cooler

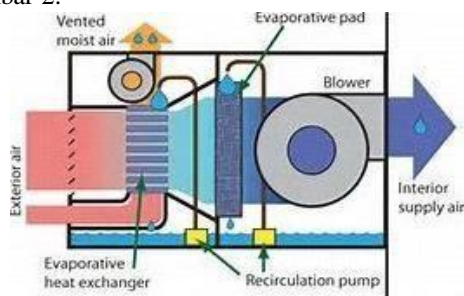
Indirect Evaporative Cooler merupakan sistim pendingin dimana udara yang akan didinginkan tidak mengalami kontak langsung dengan media pendinginnya. Secara umum prinsip kerja sistim indirect evaporative cooling dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip Kerja Sistim Indirect Evaporative Cooling

2.2 Konstruksi dan Cara Kerja Indirect Evaporative Cooling

Indirect evaporative cooling merupakan sistim yang terdiri dari dua saluran udara, yakni saluran kering dan basah yang dipisahkan oleh suatu material penukar panas, biasanya berupa pelat tipis aluminium atau tembaga. Pada saluran kering mengalir udara luar yang akan didinginkan, sedangkan pada saluran basah mengalir udara luar juga, tetapi akan dialirkan berlawanan arah dengan aliran air yang disemprotkan dari sisi atas sistim indirect evaporative cooling Konstruksi dan cara kerja dari sistem ini ditunjukkan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Indirect evaporative Cooler

3. Metodologi

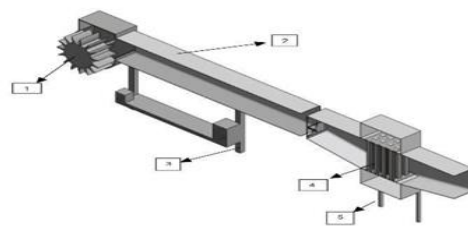
3.1 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam melakukan percobaan dan penelitian adalah sebagai berikut :

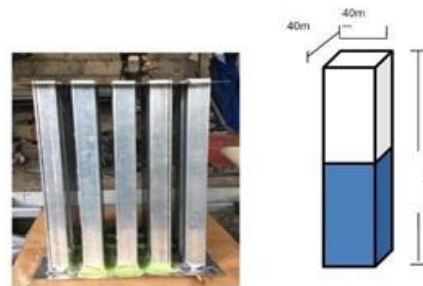
1. Fan
2. Thermometer dan thermokopel.
3. Stopwatch.
4. Dry Ice.
5. Timbangan.
6. Anemometer.

3.2 Pemodelan Pengujian.

Untuk mempermudah pengujian indirect evaporative cooling system maka dibuat pemodelan alat seperti gambar berikut ini :

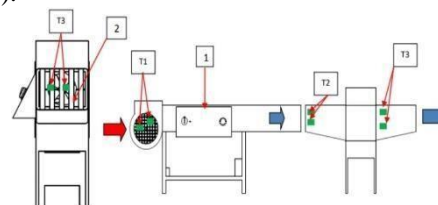


Gambar 3. Skematik Alat Pengujian



Gambar 4. Solid Dry Ice Pad

Ukuran solid dry pad : 4 cm (panjang) x 4 cm (lebar) x 40 cm (tinggi), maka volume penuh (100% dry ice) solid dry pad adalah 640 cm³, 75% (480 cm³) dan 50% (320 cm³).



Gambar 5. Skematik Pengujian

Keterangan

1. Mechanical Fan
 2. Solid Dry Pad terdapat 20 besi yang berbentuk balok
 3. Thermometer :
- T₁ = Temperatur udara masuk fan (udara sekitar). T₂ = Temperatur udara masuk pads (setelah fan) T₃ = Temperatur udara keluar pads.

3.3 Langkah Perancangan.

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

- Siapkan alat dan bahan berupa pipa besi 4x4 sebanyak 20 batang dengan tinggi 400 mm.
- Posisikan pipa-pipa tersebut secara in-line , atur jarak antara pipa, dan sambungkan bagian bawah pipapipa tersebut pada plat datar dengan pengelasan, sehingga terbentuk cooling pad.
- 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.
- Bila pengisian telah selesai, lalu tempatkan solid dry pad setelah fan pada box uji.
- Setelah semua selesai maka rangkai alat seperti yang ditunjukkan pada gambar.
- 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. 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.

3.4 Prosedur Penelitian.

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

- Pemasangan sistim pengujian dan pencatatan data..
- Atur putaran fan pada kecepatan $V_{ud} = 11.3 \text{ m/s}$
- Pasang solid dry pad dengan volume pengisian dry ice 100% (640 cm^3) susunan in-line
- 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 60 menit
- Lakukan pengulangan b - d untuk volume pengisian dry ice 75% (480 cm^3) dan 50% (320 cm^3)
- Analisa hasil pengujian.

4. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Tempertur udara

Volume SDP (%)	T _{dB1} (in) (°C)	T _{wB1} (in) (°C)	T _{dB3} (out) (°C)	T _{wB3} (out) (°C)
50	28.55	27.26	27.10	24.73
75	28.64	27.62	26.65	24.55
100	28.42	27.50	26.14	23.77

Tabel 2. Relative Humadity

Volume SDP (%)	Rel.Humadity (RH) in (%)	Rel. Humadity (RH) out (%)
50	90.6	82.5
75	92.8	84.3
100	93.3	82.3

Dalam penelitian ini, kecepatan aliran udara diatur pada kecepatan konstan $V_{50} = 11,3 \text{ m/s}$ dengan

variasi prosentase volume pengisian dry ice pada solid dry pad (SDP) 50% (320 cm^3), 75% (480 cm^3), dan 100% (640 cm^3).

Berdasarkan data temperature bola kering dan bola basah pada Tabel. 1. dan Tabel 2 dapat ditentukan besarnya selisih penurunan temperature bola kering dan kelembaban relative udara pada variasi volume SDP masing-masing 50%, 75%, dan 100% , yang dapat dilihat pada perhitungan seperti dibawah ini :

4.1. Menentukan Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering dan Relative Humidity pada Volume SDP 50% (320 cm^3)

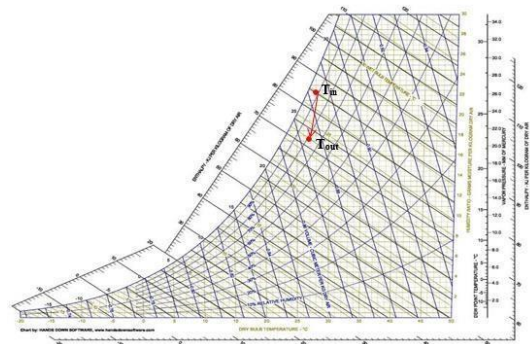
Menentukan Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering pada volume SDP 50% (320 cm^3).

$$\begin{aligned} \Delta T_{dB} &= T_{dB1} - T_{dB3} \\ &= 28,55^\circ\text{C} - 27,10^\circ\text{C} \\ &= 1.45^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Menentukan Selisih Penurunan Kelembaban Relative Udara pada Volume SDP 50% (320 cm^3)

$$\begin{aligned} \Delta RH &= RH_{in} - RH_{out} \\ &= RH(T_1) - RH(T_3) \\ &= 90.6 - 82.5 \\ &= 8.1\% \end{aligned}$$

Dari data temperature bola kering dan bola basah T_{dB1},T_{wB1} dan T_{dB3},T_{wB3} dapat ditentukan diagram psikrometrik proses termodinamika yang terjadi pada aliran udara pada volume SDP 50% , seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram psikrometrik proses termodinamika udara dengan volume SDP 50% (320 cm^3)

Dari Gambar 6. dapat dilihat bahwa proses termodinamika yang terjadi adalah proses pendinginan dan dehumidifikasi, dimana antara sisi masuk dan keluar solid dry pad, terjadi penurunan temperature bola kering rata-rata 1.45°C (pendinginan) dan penurunan kelembaban relative udara rata-rata 8.1 % (dehumidifikasi).

Menentukan Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering dan Relative Humidity pada Volume SDP 75% (480 cm^3). Dari tabel 1 dan 2 dapat

ditentukan besarnya penurunan temperature bola kering dan kelembaban relative rata-rata pada volume SDP 75% sebagai berikut

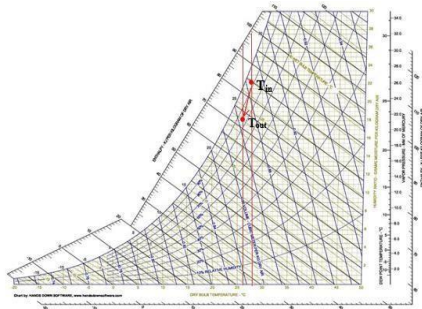
Menentukan Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering pada volume SDP 75% (480 cm³).

$$\begin{aligned} \Delta T_{dB} &= T_{dB1} - T_{dB3} \\ &= 28,63^{\circ}\text{C} - 26,65^{\circ}\text{C} \\ &= 2.0^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Menentukan Selisih Penurunan Kelembaban Relative Udara pada Volume SDP 75%.(480 cm³)

$$\begin{aligned} \Delta RH &= RH_{in} - RH_{out} \\ &= RH(T1) - RH(T3) \\ &= 92.8 - 84.3 \\ &= 8.5\% \end{aligned}$$

Akan didapat diagram psikrometrik untuk proses thermodynamika yang terjadi pada aliran udara pada volume SDP 75%, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram psikrometrik proses thermodynamika udara dengan volume SDP 75% (480 cm³)

Dapat dilihat pada Gambar 7. bahwa proses thermodynamika yang terjadi pada aliran udara dengan volume pengisian dry ice 75% (480 cm³) adalah proses pendinginan dan dehumidifikasi, ditunjukkan dengan selisih penurunan temperature bola kering rata-rata sebesar 2.0^oC dan kelembaban rata-rata sebesar 8.5 % pada sisi keluar solid dry pad.

Menentukan Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering dan Relative Humidity pada Volume SDP 100% (640 cm³). Berdasarkan Tabel 1 dan 2. dapat ditentukan selisih penurunan temperature bola kering dan kelembaban relative pada volume SDP 100% sebagai berikut.

Menentukan Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering pada volume SDP 100% (640 cm³).

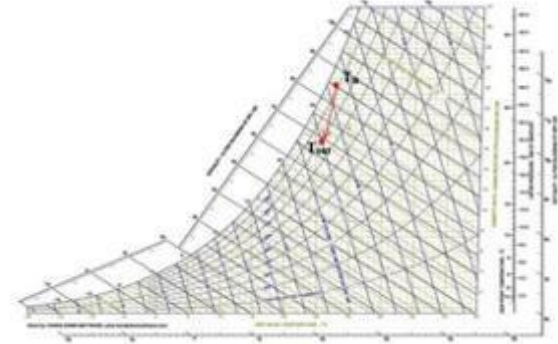
$$\begin{aligned} \Delta T_{dB} &= T_{dB1} - T_{dB3} \\ &= 28,48^{\circ}\text{C} - 26,13^{\circ}\text{C} \\ &= 2.3^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Menentukan Selisih Penurunan Kelembaban Relative Udara pada Volume SDP 100%.(640 cm³)

$$\begin{aligned} \Delta RH &= RH_{in} - RH_{out} \\ &= RH(T1) - RH(T3) \\ &= 93.3 - 82.3 \end{aligned}$$

$$= 11.0 \%$$

Dari data temperature bola kering dan bola basah udara pada sisi masuk dan keluar SDP pada volume SDP 100%, didapat diagram psikrometrik proses thermodynamika udara seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram psikrometrik proses aliran udara pada volume SDP 100% (640 cm³)

Dapat dilihat pada Gambar 8. bahwa proses thermodynamika yang terjadi pada aliran udara dengan volume pengisian dry ice 100% (640 cm³) adalah proses pendinginan dan dehumidifikasi. Dari ketiga data hasil variasi prosentase volume pengisian dry ice terhadap proses thermodynamika yang dialami oleh udara yang melewati solid dry pad pada kecepatan aliran udara 11.3 m/s dapat ditabulasikan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Porses Termdinamika Udara

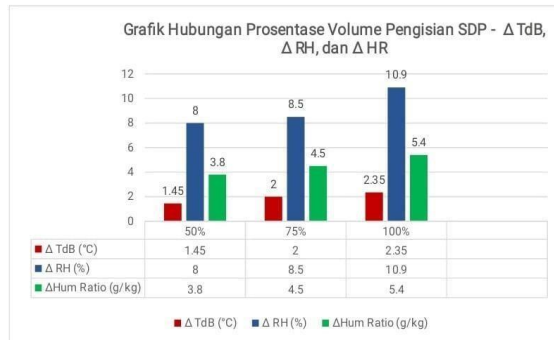
Prosentase volume dry ice (%)	Δ TdB (°C)	Δ RH (%)	Proses Thermodynamika
50 (320 cm ³)	1.45	8.0	Pendinginan dan Dehumidifikasi
75 (480 cm ³)	2.00	8.5	Pendinginan dan Dehumidifikasi
100 (640 cm ³)	2.35	11.0	Pendinginan dan Dehumidifikasi

Berdasarkan data pada tabel 3 dapat dibuatkan grafik hubungan prosentase volume pengisian solid dry pad dengan selisih penurunan temperature bola kering dan kelembaban relative (Gambar 9) dan grafik hubungan selisih ΔTdB dan volume SDP terhadap waktu (Gambar 10) serta grafik hubungan selisih kelembaban relative, ΔRH dan volume SDP terhadap waktu (Gambar 11) seperti dibawah ini.

Keterangan :

Δ TdB = Selisih penurunan temperatur bola kering (°C)

Δ RH = Selisih penurunan kelembaban relatif (%)
 Δ HR = Selisih penurunan humidity ratio (gr. uap air/kg udara kering)



Gambar 9. Grafik Hubungan Volume SDP dengan Δ TdB dan Δ RH



Gambar 10. Penurunan TdB dan Volume SDP terhadap Waktu



Gambar 11. Grafik Hubungan Selisih Penurunan Relative Humidity dan Volume SDP terhadap Waktu.

5. Kesimpulan

Sistem indirect evaporative cooling berbasis solid dry pad ini pada prosentase pengisian solid dry pad 100% (640 cm³) mampu menurunkan temperature bola kering dan bola basah udara masing-masing hingga 26.14°C dan 23.77°C dengan selisih penurunan temperature bola kering tertinggi sebesar 2.35°C, dan selisih penurunan kelembaban relative tertinggi sebesar 11.0%. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa sistim indirect evaporative cooling berbasis solid dry pad mampu menghasilkan udara dengan tingkat pendinginan dan dehumidifikasi yang cukup signifikan, sehingga udara produk yang dihasilkan akan menjadi lebih dingin dan kering,

Daftar Pustaka

- [1]. Arfidian Rachman, Sulaiman, & Syafrul Hadi. (2018). *Improved Performance of the Vapor Compression Cooling System Using A Combination of Condensers-Evaporative Cooling*, 8, 22-26. Retrieved from <http://dx.doi.10.21063/JTM>.
- [2]. Harris, N. C. (1987). *Modern Air conditioning Practice (3rd ed.)*. Publ. N.Y.: Mc Graw-Hill Book Co.
- [3]. Hendra Wijaksana, & I Nengah Suarnadwipa. (2016). *Studi Eksperimental Performansi Pendingin Ice Bunker Menggunakan Media Ice Dengan Variasi Massa Berbeda*. Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, 5, 1-6.
- [4]. Holman J. P. (1986). *Heat Transfer . Amerika Serikat: Erlangga*.
- [5]. 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, Volume 5, Nomer 3, 1-5.
- [6]. 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.
- [7]. Jesse Dean, Lesley Herrmann, Eric Kozubal, dan Jesse Geiger. (2012). *Dew Point Evaporative Comfort Cooling*, 1, 21-30.
- [8]. Martin Karpiscak, & Mary H. Marion. (1994). *Evaporative Cooler Water Use [journal]*. Arizona (USA): The University of Arizona.
- [9]. Riangvilaikul, B., Kumar, S., 2010, *An Experimental Study Of A Novel Dew Point Evaporative Cooling System*. *Energy and Buildings*, Elsevier, 42 :637. 2, 2.
- [10]. Seth I. Manuwa & Simon O. Odey. (2012). *Evaluation of Pads and Geometrical Shapes for Constructing Evaporative Cooling System*.

- [11]. Suprianto, Fandi D. (2004) *Peningkatan unjuk kerja peralatan air washer dan evaporative cooler*. p.12.

	<p>Anak Agung Made Arie Prastyo menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2013 sampai 2020</p>
<p>Telah menyelesaikan studi program sarjana S1 dengan topik penelitian “Studi Experimental Proses Termodinamika Udara Pada Pendinginan Indirect Evaporative Cooling Berbasis In-Line Solid Dry Pad” penelitian yang diminati adalah proses perubahan pendinginan dan dehumidifikasi.</p>	