

Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap *Dew Point Effectiveness (DPE)* Pada Sistem *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury* dengan Aliran Udara *Parallel*

Alfrede Elia Jhonson Situmeang, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Abstrak

Energi bersih merupakan kebutuhan dasar manusia. Sebagian besar sistem konsumsi dan produksi energi yang ada saat ini tidak efisien dan dapat merusak lingkungan. Pendinginan evaporatif adalah cara alternatif kompresi uap mekanis untuk aplikasi pengkondisian udara. Siklus Maisotsenko (*M-Cycle*) adalah prinsip pendinginan evaporatif dan diakui sebagai pengembangan dari teknologi *IEC (Indirect Evaporative Cooling)* yang terkenal dengan aliran udara sekunder pra-pendinginan sebelum memasuki saluran udara sekunder. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan udara terhadap *Dew Point Effectiveness (DPE)*. Pada sistem *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury* dengan aliran udara horizontal parallel flow dengan variasi kecepatan aliran udara yaitu 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan bahwa *Dew Point Effectiveness* tertinggi terjadi pada kecepatan aliran udara tertinggi yaitu 5 m/s yakni sebesar 29,8%.

Kata Kunci: *M-Cycle*, *DPE*, Kecepatan aliran udara

Abstract

Clean energy is a basic human need. Most existing energy consumption and production systems are inefficient and can damage the environment. Evaporative cooling is an alternative way of mechanical vapor compression for air conditioning applications. The Maisotsenko Cycle (*M-Cycle*) is the principle of evaporative cooling and is recognized as a development of the well-known *IEC (Indirect Evaporative Cooling)* technology by pre-cooling secondary airflow before entering the secondary air duct. The main objective of this research is to determine the effect of air velocity variation on *Dew Point Effectiveness (DPE)*. In the maisotsenko cycle indirect evaporative cooling ventury system with horizontal parallel flow with air flow velocity variations of 5 m/s, 7 m/s, and 9 m/s. From the tests conducted, it was found that the highest *Dew Point Effectiveness* occurred at the highest air flow velocity of 5 m/s, which amounted to 29.8%.

Keyword: *M-Cycle*, *DPE*, Airflow Velocity

1. Pendahuluan

Pada masa sekarang, jumlah unit pendinginan konvensional dan *Air Conditioner (AC)* digerakkan oleh listrik dengan sumber energi didasarkan pada bahan bakar fosil. Sebagai hasil dari meningkatnya kesadaran akan permasalahan ekonomi dan lingkungan dari penggunaan bahan bakar fosil, penggunaan teknologi pendinginan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan menjadi bermakna [1]. Oleh karena itu, pendinginan evaporatif adalah cara alternatif kompresi uap mekanis untuk aplikasi pengkondisian udara. Sistem ini hanya membutuhkan seperempat tenaga listrik yang digunakan oleh kompresi uap mekanis untuk pengkondisian udara [2].

Dua jenis sistem pendinginan evaporatif yaitu sistem pendinginan evaporatif langsung dan tidak langsung. Dalam keadaan iklim yang panas dan gersang penggunaan *Direct Evaporative Cooling (DEC)* jauh lebih berhasil. Tetapi, kapasitas sistem ini dibatasi oleh jumlah uap yang dapat ditampung oleh aliran pendinginan. Di sisi lain, *Indirect Evaporative Cooling (IEC)* memberikan keuntungan dengan menurunkan

suhu ke suhu bola basah tanpa meningkatkan kelembapan [3].

M-cycle bekerja menggunakan prinsip pendinginan evaporatif tidak langsung meskipun dengan pola aliran yang berbeda. Bagian khas dari *M-cycle* adalah pola aliran di saluran basah. Dimana aliran udara yang masuk ke saluran basah di dinginkan. Secara teoritis, temperature udara suplai dapat diturunkan hingga mencapai temperature titik embun udara (*dew point*) yang masuk [3].

Pada sistem *Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling Ventury* dengan aliran parallel (*Parallel Flow*) melihat pada dua aliran udara yang bergerak masuk (*inlet*) searah menuju keluaran (*outlet*) pada *dry channel* (saluran kering) dengan 5 laluan di *wet channel* (saluran basah). Pola *parallel flow* pada sistem *maisotsenko ventury* akan memberikan aliran udara perlambatan sehingga memberikan waktu untuk pertukaran panas [4].

Dalam hal ini pengujian akan mengkaji permasalahan, yaitu bagaimana pengaruh variasi kecepatan udara terhadap *Dew Point Effectiveness*

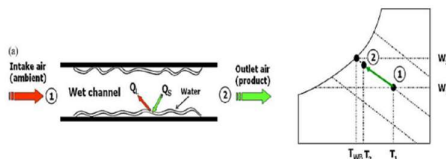
(DPE) pada sistem *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury* aliran parallel dengan variasi kecepatan 5 m/s, 7m/s, dan 9 m/s. Untuk membatasi penelitian adanya ditetapkan batasan yaitu setiap kecepatan aliran udara inlet blower ke outlet dianggap konstan, laju aliran air yang masuk tetap atau konstan, dan suhu air pendingin pada saluran basah dianggap konstan.

2. Dasar Teori

2.1 Pendinginan Evaporatif Langsung

Dalam proses pendinginan evaporatif langsung, aliran udara yang akan didinginkan bersentuhan langsung dengan medium basah atau semprotan air. Pendinginan evaporatif langsung biasa disebut *Direct Evaporative Cooling* (DEC). Pendinginan evaporatif langsung (DEC) memiliki perkiraan efektivitas 70-95% dalam penurunan suhu dan dalam penggunaannya namun memiliki kekhawatiran tentang masalah kualitas udara, jika perawatannya buruk [5].

Pendinginan evaporatif langsung memiliki konfigurasi sederhana dimana udara dibawa ke kontak langsung dengan air dan dilembabkan sebagai jalur 1-2. Pada kondisi saturasi adiabatik, suhu udara keluaran dapat diturunkan menjadi suhu bola basahnya. Dengan demikian, nilai efektivitas bola basah tertinggi yang dapat diperoleh secara teoritis adalah 100% [2].



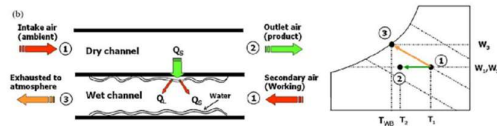
Gambar 2.1 Pendinginan Evaporatif Langsung [2]

2.2 Pendinginan Evaporatif Tidak Langsung

Dalam proses pendinginan evaporatif tidak langsung, aliran udara utama yang akan didinginkan dipisahkan dari permukaan yang dibasahi oleh plat datar atau dinding tabung sehingga udara dingin tidak secara langsung menghubungi cairan penguapan. *Indirect Evaporative Cooling* (IEC) nama lainnya dari pendinginan evaporatif tidak langsung [6].

Pendinginan evaporatif tidak langsung memiliki perkiraan efektivitas sekitar 40-65% dalam penurunan suhu. Oleh karena itu, pendinginan evaporatif tidak langsung (IEC) merupakan salah satu teknologi pendinginan alternatif untuk aplikasi AC [1].

Sistem IEC menggunakan dua aliran udara ambient dalam prosesnya yaitu saluran kering untuk udara ambient masuk (1), saluran basah udara sekunder (2), dan dipisahkan oleh polimer film tipis dinding untuk mencegah penetrasi kelembaban diantara mereka. Sepanjang jalur aliran 1-2, udara masuk kehilangan panas sensible ke sisi basah untuk penguapan air dan udara sekunder di dinginkan dengan kontak langsung dengan air sebagai jalur 1-3 [2].

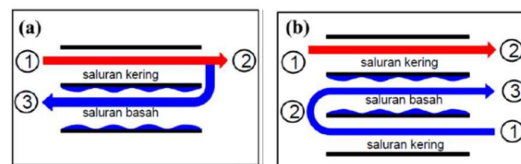


Gambar 2. 2 Pendinginan Evaporatif Tidak Langsung [2]

Siklus Maisotsenko (M-Cycle) diakui sebagai pengembangan dari teknologi IEC yang terkenal dengan aliran udara sekunder pra-pendinginan sebelum memasuki saluran udara sekunder. Karena suhu aliran udara saluran sekunder yang lebih rendah, *M-Cycle* terbukti memiliki potensi pendinginan yang tinggi dan batas pendinginan dapat memperoleh suhu titik embun (*dew point*) aliran udara masuk [7].

M-Cycle juga merupakan proses termodinamika yang menangkap energi dari udara dengan memanfaatkan energi terbarukan psikometrik yang tersedia dari panas laten air yang menguap ke udara [3].

Prinsip dasar dan fitur *M-Cycle* dapat dijelaskan dari Gambar 2.3 masing masing mewakili *M-Cycle* yang lama dan dimodifikasi. Produk serta saluran kerja dikhususkan untuk aliran udara dalam siklus *M-Cycle* lama (Gambar 2.3,a) , sedangkan siklus *M-Cycle* yang dimodifikasi (Gambar2.3,b) memberikan kebebasan untuk memulihkan panas dari cairan apapun dengan menggunakan saluran kering tambahan [10].



Gambar 2.3 Siklus Maisotsenko (M-Cycle) [10]

2.3 Efektivitas Titik Embun (*Dew Point Effectiveness*)

Titik embun adalah suhu temperatur udara yang harus didinginkan dengan uap air agar menjadi jenuh. Apabila didinginkan lebih lanjut, maka uap air di udara akan mengembun sehingga terbentuk embun. Ketika udara mendingin ke titik embunnya melalui kontak dengan permukaan yang lebih dingin daripada udara, maka air akan mengembun di permukaan [8].

Efektivitas bola basah adalah rasio perbedaan antara suhu udara masuk dan keluar terhadap perbedaan antara masuknya temperatur udara kering dan temperature bola basahnya. Ini dapat dinyatakan sebagai berikut [2].

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{Din} - T_{Dout}}{T_{Din} - T_{dp}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

T_{Din} : Suhu udara bola kering masuk (°C)

T_{Dout} : Suhu udara bola kering keluar (°C)

T_{dp} : Suhu titik embun (°C)

ε_{dew} : Efektivitas titik embun (%)

2.4 Efektivitas Bola Basah (*Wet Bulb Effectiveness*)

Suhu outlet dari semua konfigurasi meningkat dengan meningkatnya suhu bola basah. Suhu bola basah yang meningkat mengurangi ruang lingkup penguapan air yang lebih banyak dengan menghasilkan penurunan suhu lebih rendah [8].

Namun, penurunan suhu maksimum yang mungkin juga menurun dan sebagai efek gabungan, efektivitas titik embun dari semua kalkulasi meningkat dengan peningkatan suhu bola basah. Efektivitas bola basah dapat diformulasikan sebagai berikut [9].

$$\varepsilon_{wb} = \frac{T_{Db.in} - T_{Db.out}}{T_{Db.in} - T_{Wb.in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

$T_{Db.in}$: Temperatur bola kering udara masuk (°C)

$T_{Db.out}$: Temperatur bola kering udara keluar (°C)

$T_{Wb.in}$: Temperatur bola basah udara primer (°C)

ε_{wb} : Efektivitas bola basah (%)

2.5 Kapasitas Pendinginan (*Cooling Capacity*)

Kapasitas pendinginan merupakan ukuran kemampuan sistem pendingin untuk memindahkan sejumlah panas dari udara yang akan didinginkan per-satu satuan waktu. Besarnya kapasitas pendinginan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [6].

$$Q_s = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

Q_s : Kapasitas pendinginan (kW)

\dot{m} : Laju aliran massa udara (kg/s)

C_p : Kapasitas panas spesifik ($Kj/kg.K$)

ΔT : Selisih temperatur bola kering masuk dan keluar (°C)

3. Metode Penelitian

3.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian dilakukan secara eksperimental dengan tujuan menganalisa unjuk kerja pendinginan sistem *Maisotsenko Indirect Evaporative Cooling Ventury Dry Channel 5* laluan dengan aliran udara horizontal *parallel flow*.

3.2 Variabel Penelitian

Berikut ini adalah variabel-variabel dalam penelitian, yaitu:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah kecepatan aliran udara pada *dry channel* (m/s):

- V1 = 5 m/s
- V2 = 7 m/s
- V3 = 9 m/s

2. Variabel Terikat

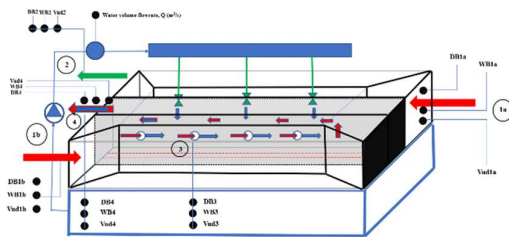
Variabel terikat pada penelitian ini adalah unjuk kerja pendinginan sistem *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling* termasuk didalamnya: *dry bulb temperature drop*, *wet bulb effectiveness*, *dew point effectiveness*, *dew point effectiveness*, *cooling capacity* dan *energy efficiency*.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang sengaja dikendalikan atau dibuat konstan. Dimana variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu laju aliran volume air pada *wet channel*.

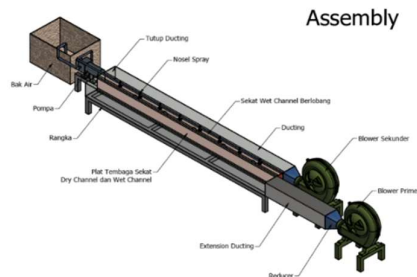
3.3 Rangkaian Alat Uji dan Dimensi Alat Uji

Dalam pengujian ini digunakan rangkaian alat uji sistem *Maisotsenko Indirect Evaporative Cooling* atau bisa disebut *M-Cycle 5 air passages* (lalu lintas udara) dengan aliran *horizontal parallel flow* antara *primary air* dari *ventury dry channel* dengan *working air* dari *wet channel* seperti pada gambar berikut..



Gambar 3.1 Sistem Maisotsenko-IEC

Pengujian nantinya dilakukan dengan pengaturan temperatur bola basah dan bola kering serta kelembaban udara untuk udara primer (*primary air*) dan udara sekunder (*secondary air*) pada sisi masuk *ventury dry channel* diatur sama dan konstan.

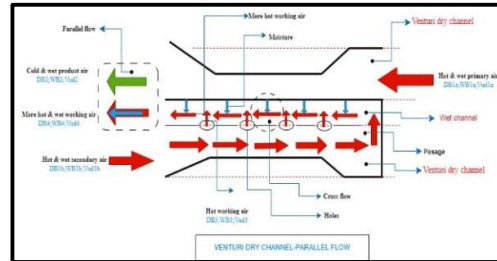


Gambar 3. 2 Dimensi Alat Uji

Pengujian nantinya dilakukan dengan pengaturan temperatur bola basah dan bola kering serta kelembaban udara untuk udara primer (*primary air*) dan udara sekunder (*secondary air*) pada sisi masuk *ventury dry channel* diatur sama dan konstan.

3.4 Cara Kerja Alat Uji

Berikut skematik diagram sistem *Maisotsenko-IEC Ventury Dry Channel* 5 laluan dengan aliran *parallel flow*.



Gambar 3.3 Skematik diagram sistem *Maisotsenk-IEC Ventury Dry Channel*

Dapat dilihat udara luar yang panas dan basah akan mengalir secara simultan masing-masing sebagai udara primer yang mengalir kedalam *dry channel* yang berhubungan dengan dinding *wet channel* yang tanpa laluan udara dan sebagai udara sekunder yang mengalir kedalam *dry channel* yang berhubungan dengan dinding *wet channel* yang memiliki laluan udara. Udara primer dan udara sekunder memiliki temperatur dan kelembaban yang sama. Udara primer yang mengalir pada *dry channel* akan mentransfer panasnya ke dinding *wet channel*. Semakin banyak panas sensible udara primer yang dapat diserap maka semakin banyak kabut air yang dapat diuapkan dan semakin dingin pula udara kerja.

4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian eksperimental pada sistem *Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling*, tipe *ventury dry channel* dengan 5 laluan dan aliran udara horizontal *parallel flow* dilakukan masing-masing pada variasi kecepatan aliran udara 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s. Pengukuran temperatur pada pengujian ini dilakukan pada temperatur udara *inlet* sisi saluran udara primer (TDb1a), saluran sekunder (TDb1b), serta temperatur udara *outlet* pada sisi saluran udara primer/udara produk (TDb2) dan pada sisi saluran basah (TDb3). Adapun hasil dari *dew point effectiveness* (DPE) untuk ketiga kecepatan pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Data Distribusi Temperatur Udara Pada V.udara 5 m/s

Waktu (menit)	TDb1a (°C)	TDb2 (°C)	DPT (°C)
5	33.7	32.3	27.6
10	35.0	33.4	27.7
15	35.2	33.5	27.7
20	35.5	33.9	28.1
25	35.5	33.7	27.9
30	35.4	33.6	27.8
Rata-rata	35.1	33.4	27.8

$$\varepsilon dp = \frac{TDb1a - TDb2}{TDb1a - DPT} \times 100\%$$

$$\varepsilon dp = \frac{35,1 - 33,4}{35,1 - 27,8} \times 100\% = 23,3\%$$

Tabel 4.2 Data Distribusi Temperatur Udara Pada V.udara 7 m/s

Waktu (menit)	TDb1a (°C)	TDb2 (°C)	DPT (°C)
5	35.5	33.9	27.3
10	36.0	34.1	27.9
15	36.4	34.1	26.5
20	36.4	34.1	25.9
25	36.2	34	26.2
30	36.4	34.1	26.5
Rata-rata	36.2	34.1	26.7

$$\varepsilon dp = \frac{TDb1a - TDb2}{TDb1a - DPT} \times 100\%$$

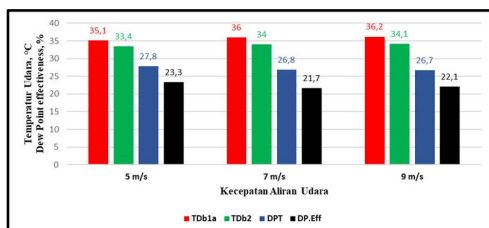
$$\varepsilon dp = \frac{36,0 - 34,0}{36,0 - 26,8} \times 100\% = 21,7\%$$

Tabel 4.3 Data Distribusi Temperatur Udara Pada V.udara 9 m/s

$$\varepsilon dp = \frac{TDb1a - TDb2}{TDb1a - DPT} \times 100\%$$

$$\varepsilon dp = \frac{36,2 - 34,1}{36,0 - 26,7} \times 100\% = 22,1\%$$

Hasil perhitungan DPE untuk ketiga kecepatan aliran udara dapat dijabarkan melalui grafik berikut.



Gambar 4.1 Grafik Temperatur Udara dan Dew Point Effectiveness

Waktu (menit)	TDb1a (°C)	TDb2 (°C)	DPT (°C)
5	34.7	32.8	27
10	35.5	33.8	27
15	36.1	34.2	26.3
20	36.5	34.3	26.6
25	36.6	34.5	26.7
30	36.8	35.0	27.2
Rata-rata	36.0	34.0	26.8

5. Kesimpulan

Melalui penelitian yang dilakukan, dapat dilihat bahwa *dew point effectiveness* (DPE) tertinggi dihasilkan pada kecepatan 5 m/s yakni sebesar 23,3%. Hal ini didapat karena udara dengan kecepatan aliran dan temperature inlet yang lebih rendah akan menghasilkan waktu interaksi pertukaran panas yang cukup lama sehingga kapasitas panas yang lebih besar dapat bertukar pada aliran udara tersebut. Dengan demikian untuk sementara dapat dikatakan bahwa DPE sistem pendingin *Maisotsenko* ini sangat tergantung pada kondisi udara luar yang akan didinginkan, termasuk didalamnya temperatur bola kering, temperatur bola basah, dan juga *dew point temperature* udara tersebut.

6. Daftar Pustaka

- [1] Pandelidisa, D., Aleksandra Cichoya. (2020). Performance study of the cross-flow Maisotsenko cycle under humid climate conditions. Department of Mechanical and Power Engineering, Wroclaw university of science and technology, 27 whyspiyski st., 50-370 wroclaw, Poland.
- [2] Riangvilaikul, B., S. Kumar. (2009). An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system. Energy Field of Study, School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology, P.O. Box 4, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand.
- [3] Khalid, O., Muzaffar Ali. (2016). Experimental analysis of an improved Maisotsenko cycle design under low velocity conditions. Mechanical Engineering Department, University of Engineering and Technology, Taxilla, Pakistan.

- [4] Tariq,R., Changhong Zhan. (2018). Numerical Study of a Regenerative Counter Flow Evaporative Cooler using Alumina Nanoparticles in Wet Channel. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Technology, HITEC University, Taxila 47080, Pakistan.
- [5] Boukhanouf, R., Omar Amer. (2018). Design and performance analysis of a regenerative evaporative cooler for cooling of buildings in arid climates. Department of Architecture and Built Environment, University of Nottingham, Nottingham, NG& 2RD, UK.
- [6] Rogdakis D., Dr. Irene P. Koronaki. (2013). Experimental and computational evaluation Technology (B.H.U), Varanasi, Up 221005, India.
- [9] Baakem, S. S., Jamel Orf. (2021). Investigations of geometrical and operational aspects of a dew-point-air-cooling system (M-cycle), Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Schulich School of Engineering, University of Calgary, Calgary, Alberta, T2N IN4, Canada.
- [10] Mahmood, M. H., Muhammad Sultan.(2016). Overview of the Maisotsenko cycle- A way towards dew point evaporative cooling. Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University, Kasuga-koen 6-1, Kasuga-shi, Fukuoka 816-8580, Japan.
- of a Maisotsenkp evaporative cooler at Greek climate.
- [7] Songa, J., Benham Sobhanib. (2020). Energy and exergy performance of an intergrated desiccant cooling system with photovoltaic/thermal using phase change material and Maisotsenko cooler. Department of Architecture, Lyliang University, Lyliang Shanxi 033000, China.
- [8] Kashyap, S., Jahar Sarkar. (2020). Comparative performance analysis of different novel regenerative evaporative cooling device topologies. Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of

	<p>Alfrede Elia Jhonson Situmeang menyelesaikan pendidikan di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2019 hingga 2024. Dengan topik penelitian Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap Dew Point Effectiveness (DPE) Pada Sistem Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury dengan Aliran Udara Parallel</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik tentang konversi energi dan manajemen energi</p>	