

Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap *Dew Point Effectiveness* (DPE) Pada Sistem Pendinginan *Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling Non-Venturi* Dengan Aliran Udara *Horizontal Counter Flow*

I Komang Ake Pramagandi, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran
Bali*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan aliran udara terhadap *Dew Point Effectiveness* (DPE) pada sistem pendinginan *Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling Non-Venturi* dengan aliran udara *horizontal Counter Flow*. *Counter Flow* berarti aliran berlawanan arah, yang berlawanan arah adalah aliran udara kerja dari saluran basah (*wet channel*) dengan aliran udara primer (*produk*), didalam sistem *M-Cycle* ini terdapat 2 saluran kering dan 1 saluran basah (*wet channel*) yaitu saluran primer, sekunder dan saluran basah (*wet channel*). Pasokan udara diarahkan ke saluran kering (*dry channel*) di saluran primer dan sekunder, pada saluran primer udara yang keluar adalah udara produk untuk pendinginan dan pada saluran sekunder udara dialirkan menuju *wet channel* melalui laluan yang ada diantara dinding sekunder dan *wet channel* sehingga udara yang masuk dari saluran sekunder akan masuk ke dalam saluran basah (*wet channel*) dan keluar menjadi udara kerja. Pada pengujian ini variasi kecepatan aliran udara yang digunakan yaitu 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s dengan waktu pengambilan data selama 30 menit dan dicatat setiap 5 menit. Selanjutnya dari masing-masing kecepatan mencari nilai *dew point effectiveness* (DPE) yang merupakan ukuran kemampuan sistem pendingin untuk mendinginkan udara hingga mendekati temperatur pengembunannya. Setelah dilakukan pengujian, pada kecepatan 5 m/s, 7 m/s dan 9 m/s *dew point effectiveness* diperoleh sebesar 21,5%, 22,9% dan 25%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa *dew point effectiveness* tertinggi dihasilkan pada kecepatan aliran udara 9 m/s yakni sebesar 25% dan yang terendah pada kecepatan 5 m/s yakni sebesar 21,5%.

Kata Kunci : *M-Cycle, Dew Point, Maisotsenko, Counter Flow, Wet Channel, Dry Channel*

Abstract

This research aims to determine the effect of air flow speed on *Dew Point Effectiveness* (DPE) in the *Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling Non-Venturi* cooling system with *horizontal Counter Flow* air flow. *Counter Flow* means flow in the opposite direction, in the opposite direction is the working air flow from *wet channel* with primary air flow (*product*), in this *M-Cycle* system there are 2 *dry channel* and 1 *wet channel*, namely primary, secondary and *wet channel*. The air supply is directed to the *dry channel* in the primary and secondary channels, in the primary channel the air that comes out is product air for cooling and in the secondary channel the air is channeled to the *wet channel* through the passage between the secondary wall and the *wet channel* so that air enters from The secondary channel will enter the *wet channel* and exit as working air. In this test, variation in air flow speed used were 5 m/s, 7 m/s, 9 m/s with a data collection time of 30 minutes and recorded every 5 minutes. Next, from each speed, look for the *dew point effectiveness* (DPE) value, which is a measure of the cooling system's ability to cool the air to close to its condensation temperature. After testing, at speed of 5 m/s, 7 m/s, 9 m/s the *dew point effectiveness* was obtained at 21,5%, 22,9%, and 25%. Based on these result, it can be concluded that the highest *dew point effectiveness* is produced at an air flow speed of 9 m/s, namely 25% and the lowest at a speed of 5 m/s, namely 21,5%.

Keywords : *M-Cycle, Dew Point, Maisotsenko, Counter Flow, Wet Channel, Dry Channel*

1. Pendahuluan

Di abad ke-21, energi bersih merupakan kebutuhan dasar manusia. Sebagian besar energi yang dikonsumsi di seluruh dunia terhubung ke sektor bangunan dan perumahan [1]. Total energi yang dikonsumsi oleh bangunan di seluruh dunia adalah 30-40%, sekitar 50% dari energi ini digunakan oleh bangunan dengan tujuan

pengkondisian udara. Teknologi pendinginan yang modern secara ekstensif menggunakan siklus kompresi uap dengan konsumsi listrik yang tinggi. Hampir 95% peralatan *air conditioning* menggunakan sistem kompresi uap untuk keperluan pendinginan. Untuk membuat sistem pendinginan udara hemat energi, perlu dikembangkan metode

pendinginan yang efektif, dan salah satu metode tersebut adalah penguapan air[2]. Sistem pendingin *evaporative* mengkonsumsi sekitar seperempat energi listrik dibandingkan dengan sistem pendinginan modern yang menggunakan kompresi uap untuk keperluan pendinginan. Selain itu sistem ini juga berkontribusi dalam mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan gas rumah kaca[3]. Pendinginan *evaporative* menunjukkan potensi besar dalam aplikasi pendinginan yang ramah lingkungan dan efisien karena tidak menggunakan freon. Siklus *Maisotsenko (M-Cycle)* telah diusulkan untuk memungkinkan pendinginan udara menuju suhu titik embunnya (*dew point*) [4]. Sistem ini dikembangkan oleh *Valerij Maisotsenko*, yang dianggap sebagai pengembangan dari teknologi IEC yang terkenal dengan aliran udara sekunder pra-pendinginan sebelum memasuki saluran udara sekunder, M-Cycle terbukti memiliki potensi pendinginan yang tinggi dan batas pendinginan dapat menuju suhu titik embun (*dew point*)[5].

Sistem pendinginan *M-Cycle* non-venturi dengan aliran udara horizontal *counter flow*, dimana *counter flow* adalah aliran yang berlawanan arah, pasokan udara diarahkan ke saluran kering pendingin dan dipisahkan menjadi dua bagian di saluran kering. Sebagian besar dikirim sebagai udara produk untuk pendinginan, dan sisanya digunakan sebagai udara kerja dan dihisap ke saluran basah dengan arah sebaliknya. Udara yang bekerja di saluran basah dapat merangsang penguapan air dan akhirnya dialirkan ke saluran keluar yang terletak di keluaran dari *wet channel* [6].

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan aliran udara terhadap *dew point effectiveness* pada sistem pendinginan *maisotsenko-indirect evaporative cooling non-ventury* dengan aliran udara horizontal *counter flow*. Adapun batasan masalah yang diperlukan dalam penelitian ini untuk mendapatkan hasil yang diinginkan yaitu:

1. Laju aliran air masuk tetap atau konstan
2. Suhu air pendingin pada saluran basah dianggap konstan
3. Setiap kecepatan aliran udara inlet blowe ke outlet dianggap konstan

2. Dasar Teori

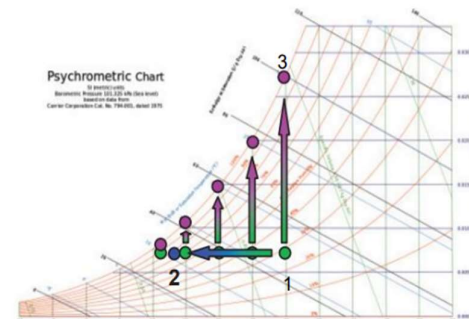
2.1 Siklus *Maisotsenko (M-Cycle)*

Siklus *M-Cycle* dianggap sebagai pengembangan dari teknologi IEC (*indirect evaporative cooling*) 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 diperoleh suhu titik embun udara masuk. Karakteristik utama dari sistem ini adalah bahwa udara sekunder memiliki banyak saluran dari saluran keringnya ke saluran basah,



Gambar 1 Skema prinsip kerja dan aliran yang disederhanakan dari sistem M-IEC (Bogdam Porumb,dkk (2015)



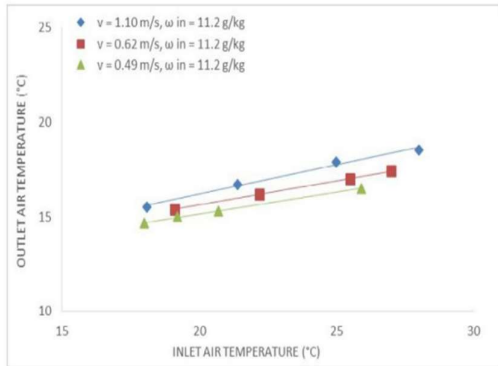
Gambar 2 Proses kerja M-IEC pada grafik psikometri (Bogdam Porumb,dkk (2015)

udara utama hanya mengalir ke saluran kering khusus. Udara primer mengalir di saluran kering khusus dan mentransfer panas melalui permukaan panas ke saluran basah, disalurkan keluar udara primer akan memiliki suhu mendekati suhu *dew point* dari suhu udara masuk di primer. Udara sekunder adalah udara yang sama mengalir disaluran kering khusus, tetapi memiliki beberapa jalur ke saluran basah *wet channel* sehingga di dalam *wet channel* udara akan kontak langsung dengan air dan menjadi udara kerja, dapat dikatakan bahwa di bagian udara sekunder udara akan terus-menerus meningkatkan kelembapannya hingga keluar. Proses kerja udara primer (1-2) diwujudkan pada kelembapan konstan, proses kerja udara sekunder (1-3), pada batasnya suhu *dew point* akhir dari udara primer di saluran keluar dapat mencapai suhu *dew point* udara primer yang masuk[7].

2.2 Pengaruh Kecepatan Udara Masuk

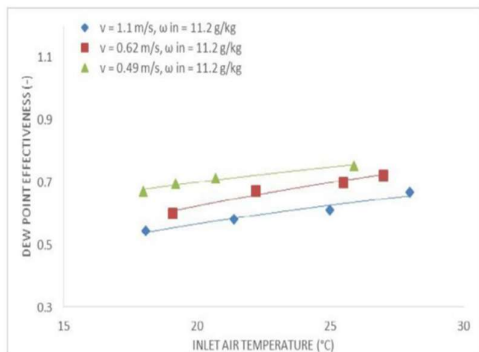
Kecepatan masuk memiliki peran penting dalam kinerja sistem, pada gambar 3 menunjukkan kondisi udara keluar ketika kecepatan udara masuk di variasikan sambil menjaga rasio kelembapan tetap. Rasio

kelembapan udara 11,2 g/kg pada inlet memberikan penurunan suhu udara outlet yang lebih besar jika kecepatan udara inlet diturunkan, karena jika kecepatan inlet yang tinggi, durasi kontak udara dengan sisi basah saluran berkurang.[8]



Gambar 3 Suhu udara keluar untuk kecepatan udara masuk yang berbeda(Umar Khalid,dkk 2015).

Selanjutnya gambar 4 menunjukkan *dew point effectiveness* untuk kecepatan udara yang berbeda sambil menjaga rasio kelembapan tetap sama. Ketika kecepatan meningkat, kedua nilai efektivitas menurun, untuk kecepatan dibawah 0,5 m/s, nilai efektivitas titik embun sebesar 67%[9].



Gambar 4 Dew point effectiveness pada kelembapan konstan dan kecepatan udara masuk yang berbeda (Umar Khalid,dkk 2015).

2.3 DPE (Dew Point Effectiveness)

DPE merupakan ukuran kemampuan sistem pendingin *maisotsenko* untuk mendinginkan udara hingga mendekati temperatur pengembunan-nya (*dew point temperature-DPT*), besarnya DPE dapat ditentukan menggunakan persamaan seperti dibawah:[10].

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.in} - T_{dB.out}}{T_{dB.in} - T_{dp}} \times 100\%$$

Dimana:

ε_{dp} = Dew point effectiveness (%)

$T_{dB.in}$ = Temperatur bola kering udara primer inlet (°C)

$T_{dB.out}$ = Temperatur bola kering udara primer outlet (°C)

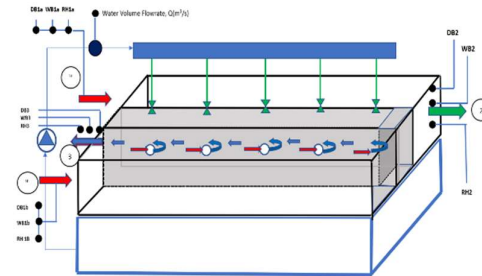
$T_{dp.in}$ = Temperatur *dew point* udara primer inlet (°C)

3. Metode Penelitian

3.1 Alat dan bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. UNI-T UT333 *Thermometer Hygrometer Humidity*
2. Digital *wind anemometer*
3. Pompa pengabut
4. *Nozzel*
5. Dimer
6. *Stopwatch*
7. Plat aluminium dan tembaga
8. Blower keong
9. Gerinda dan bor
10. Aluminium foil



Gambar 5 Prinsip kerja sistem *maisotsenko*

3.2 Rangkaian Alat Uji

DB1a = *Primary air dry bulb temperature inlet*

WB1a = *Primary air wet bulb temperature inlet*

RH1a = *Primary air velocity inlet*

DB1b = *Secondary air dry bulb temperature inlet*

WB1b = *Secondary air wet bulb temperature inlet*

RH1b = *Secondary air velocity inlet*

DB2 = Product air dry bulb temperature outlet

WB2 = Product air wet bulb temperature outlet

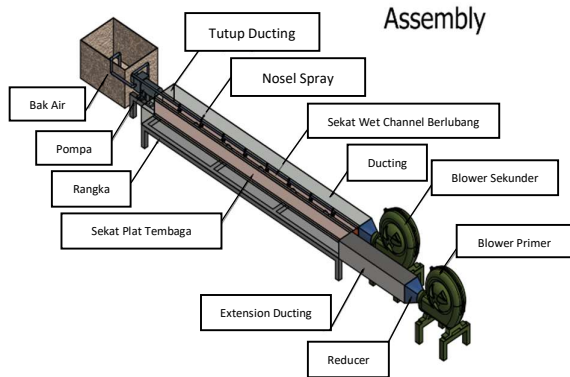
RH2 = Product air velocity outlet

DB4 = Working air dry bulb temperature outlet

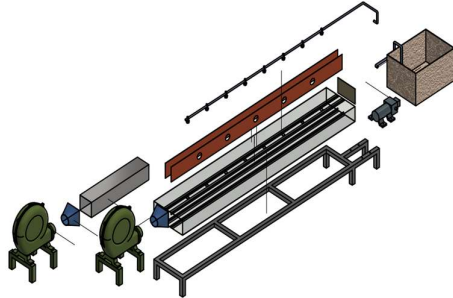
WB4 = Working air wet bulb temperature outlet

RH4 = Working air velocity outlet

Q = Water volume flowrate



Gambar 6 Komponen alat uji



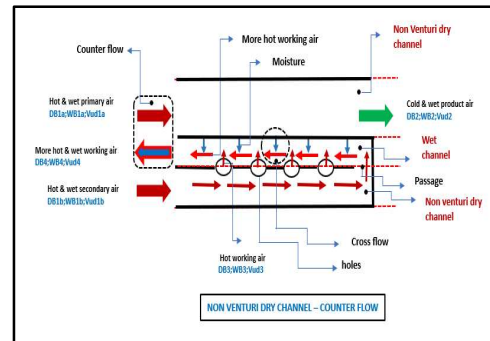
Gambar 7 Alat uji non-venturi counter flow

3.3 Cara Kerja Alat Uji

Udara primer dan sekunder memiliki kecepatan aliran, temperatur inlet dan kelembapan yang sama saat akan memasuki *dry channel*. Udara primer pada *wet channel* yang tanpa laluan udara akan mentransfer panasnya pada dinding *wet channel* secara konveksi dan konduksi, hingga panas tersebut merambat hingga ke dinding dalam *wet channel*. Pada sistem *maisotsenko* ini arah aliran udara kerja akan berlawanan dengan arah aliran udara primer (*counter flow*). Panas sensibel udara primer ini akan diserap oleh kabut air yang disemprotkan melalui *nozzel* dari arah atas aliran udara *wet*

channel secara bersilangan. Udara sekunder pada sisi *dry channel* dengan laluan udara, akan masuk ke dalam *wet channel* melalui saluran udara yang ada dan dikeluarkan sebagai udara kerja. Udara didalam *wet channel*

akan menyerap panas udara primer pada sisi dinding lubang *wet channel* bersama sama dengan kabut air. Proses ini menghasilkan udara produk pada sisi *outlet dry channel* yang berpotensi mencapai suhu dibawah temperatur bola basah inletnya dan juga hampir mendekati temperatur pengembunannya.



Gambar 8 Prinsip kerja sistem *maisotsenko*

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian

Pengujian eksperimental pada sistem *maisotsenko indirect evaporative cooling*, tipe non-venturi *dry channel* dengan 5 laluan dan aliran udara horizontal *counter flow* dilakukan masing masing pada variasi kecepatan alira udara 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s. Untuk mendapatkan nilai dari DPE ini maka dilakukan pengukuran temperatur pada pengujian ini dilakukan pada temperatur udara inlet sisi saluran udara primer (Tdb1a), temperatur outlet pada sisi saluran primer. Saluran masuk udara primer dan sekunder dianggap sama saat awal masuk. Hasil perhitungan DPE untuk ketiga kecepatan aliran udara dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1 Data distribusi temperatur udara pada kecepatan 5 m/s

Waktu (menit)	Tdb1a (°C)	Tdb 2 (°C)	DPT (°C)
5	31,8	31,8	26,9
10	32,2	31,9	27,2
15	34,5	32,7	27,2
20	34,9	33	27,6
25	35,1	33,1	27,9

30	34,9	33	27,8
Rata-rata	33,9	32,5	27,4

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.in} - T_{dB.out}}{T_{dB.in} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.1a} - T_{dB.2}}{T_{dB.1a} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{33,9 - 32,5}{33,9 - 27,4} \times 100\% = 21,5\%$$

Tabel 2 Data distribusi temperatur udara pada kecepatan 7 m/s

Waktu (menit)	TdB1a (°C)	TdB 2 (°C)	DPT (°C)
5	35,1	33,1	26,7
10	35,5	33,5	26,5
15	35,9	33,6	25,5
20	36,1	33,4	26,1
25	35,3	33,4	25,7
30	35,7	33,5	25,7
Rata-rata	35,6	33,4	26

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.in} - T_{dB.out}}{T_{dB.in} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.1a} - T_{dB.2}}{T_{dB.1a} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{35,6 - 33,4}{35,6 - 26} \times 100\% = 22,9\%$$

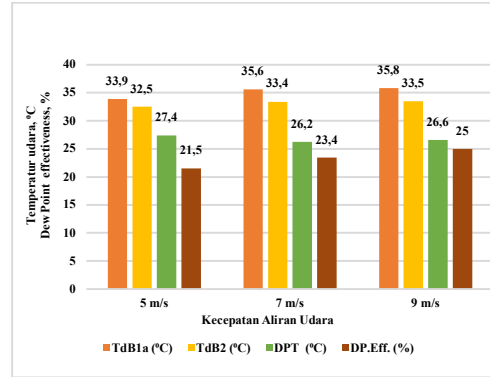
Tabel 3 Data distribusi temperatur udara pada kecepatan 9 m/s

Waktu (menit)	TdB1a (°C)	TdB 2 (°C)	DPT (°C)
5	35,5	33,4	26,8
10	36	33,7	26,5
15	35,8	33,5	26,3
20	35,9	33,6	26,4
25	35,8	33,6	26,5
30	36,1	33,7	27,1
Rata-rata	35,8	33,5	26,6

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.in} - T_{dB.out}}{T_{dB.in} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.1a} - T_{dB.2}}{T_{dB.1a} - T_{dp}} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{35,8 - 33,5}{35,8 - 26,6} \times 100\% = 25\%$$



Gambar 9 Grafik temperatur dan dew point effectiveness

Berdasarkan pada tabel distribusi temperatur udara pada kecepatan 5m/s,7ms,9m/s dan gambar 4.1, dapat dilihat bahwa (DPE) tertinggi dihasilkan pada kecepatan aliran udara 9 m/s yakni sebesar 25%, sedangkan DPE terendah terjadi pada kecepatan aliran udara 5 m/s yakni sebesar 21,5%.

5. Kesimpulan

DPE sistem pendingin *Maisotsenko* ini, sangat bergantung pada kondisi udara luar yang akan di dinginkan, termasuk di dalamnya temperatur bola kering, temperatur bola basah dan juga dew point temperatur udara tersebut, serta juga kecepatan aliran udaranya. Semakin tinggi kecepatan aliran udara masuk, semakin tinggi juga nilai DEP yang akan didapat.

6. Daftar Pustaka

- [1] Kasyap, S., Sarkar, J. & Kumar, A., 2020, *Comparative performance analysis of different novel regenerative evaporative cooling device topologies*, Applied Thermal Engineering, 176, 115464.
- [2] Lin, J., Thu, K., Karthik, S., Shahzad, M., Wang, R. & Chua, K. J., 2021, *Understanding the transient behavior of the dew point evaporative cooler from the first and second law of thermodynamic*, Energy Conversion and Management, 244, 114471.

- [3] Riangvilaikul, B., & Kumar, S., 2010, *An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system*, Energy and Buildings, 42, 637-644.
- [4] Pandelidis, D., Cichon, A., Pacak, A., Drag, P., Drag, M., Worek, W., & Cetin, S., 2020, *Performance study of the cross-flow Maisotsenko cycle in humid climate conditions*, International Communications in Heat and Mass Transfer, 115, 104581.
- [5] Amer, O., Boukhanouf, R., & Ibrahim, H. G., 2015, *A review of evaporative cooling technologies*, International Journal of Environmental Science and Development, 6, 111.
- [6] Dizaji, H. S., Hu, E. J., & Chen, L., 2018, *A comprehensive review of the Maisotsenko-cycle based air conditioning system*, Energy, 156, 725-749.
- [7] Porumb, B., Balan, M., & Porumb, R., 2016, *Potential of indirect evaporative cooling to reduce the energy consumption in fresh air conditioning application*, Energy Procedia, 85,433-441.
- [8] Rogdakis, E. D., Koronaki, I. P., & Tertipis, D. N., 2014, *Experimental and computation evaluation of a Maisotsenko evaporative cooler at Greek climate*, Energy and Buildings, 70, 497-506.
- [9] Shahzad, M. K., Chaudhary, G. Q., Ali, M., Sheikh, N.A., Khalil, M. S., & Rashid, T.U., 2018, *Experimental evaluation of a solid desiccant system integrated with cross flow Maisotsenko cycle evaporative cooler*, Applied Thermal Engineering, 128, 1476-1478.
- [10] Zhan, C., Duan, Z., Zhao, X., Smith, S., Jin, H., & Riffat, S., 2011, *Comparative study of the performance of the M-Cycle counter-flow and cross-flow heat exchangers for indirect evaporative cooling-paving the path toward sustainable cooling of buildings*, Energy, 36, 6790-6805.

