

# **Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap *Dew Point Effectiveness* pada Sistem Pendinginan Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling Non-Venturi dengan Aliran Udara Horizontal Parallel Flow**

Moch. Nurul Tajri, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa

*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran*

*Bali*

---

## **Abstrak**

*Penelitian dilakukan untuk mengetahui efektifitas titik embun alat pendingin sistem Maisotsenko dalam variasi arah aliran parallel flow dan kecepatan aliran udara. Parameter pengujian alat pendinginan ini yaitu temperatur udara masuk sisi saluran udara primer, saluran sekunder, temperatur udara produk pada sisi saluran udara primer dan pada temperatur saluran basah. Penelitian ini dilakukan untuk menguji sistem Maisotsenko dalam variasi arah aliran parallel flow dan kecepatan 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s. Pengujian dilakukan dalam rentang waktu 30 menit dan pengambilan data setiap 5 menit. Hasil pengujian didapat penurunan suhu tertinggi pada variasi kecepatan 5 m/s yang bisa menurunkan temperatur mencapai 2.55°C. Berdasarkan data, unjuk kerja alat ini sangat bergantung pada laju aliran massa udara dan hasil penurunan temperatur*

*Kata Kunci : Siklus Maisotsenko, pendingin evaporatif, parallel flow, Temperatur udara kering, Laju aliran udara.*

## **Abstract**

*The study was conducted to determine the effectiveness of the dew point of the Maisotsenko system cooling device in the variation of parallel flow direction and air flow velocity. The test parameters of this cooling device are the inlet air temperature on the side of the primary air duct, secondary duct, product air temperature on the side of the primary air duct and at the wet duct temperature. This study was conducted to test the Maisotsenko system in a variation of parallel flow direction and speed of 5 m/s, 7 m/s, and 9 m/s. Testing was carried out in a span of 30 minutes and data collection every 5 minutes. The test results obtained the highest temperature reduction at a speed variation of 5 m/s which can reduce the temperature to 2.55°C. Based on the data, the performance of this tool is highly dependent on the air mass flow rate and the result of temperature reduction.*

*Keywords: Maisotsenko cycle, evaporative cooler, parallel flow, Dry bulb temperature, Air flow rate.*

---

## **1. Pendahuluan**

Indonesia memiliki iklim tropis, suhu udara yang panas menyebabkan manusia dehidrasi sehingga masyarakat membutuhkan penggunaan pendingin udara. Tidak dapat dipungkiri bahwa penggunaan sistem pengkondisian udara banyak dipakai adalah air conditioning. Hingga saat ini, refrigeran yang masih banyak digunakan air conditioning adalah refrigeran R22 yang mengandung zat chlor dan fluor. Zat chlor dan fluor tersebut dapat mengikis lapisan ozon dengan cara mengikat molekul atomnya sehingga lama-kelamaan, lapisan ozon akan hilang dan pancaran sinar ultra violet akan semakin mudah masuk, dengan demikian, panas di bumi akan meningkat [1]. Oleh karena itu banyak dikembangkan sistem pengkondisian udara yang lebih hemat energi

dan ramah lingkungan dan salah satu diantaranya adalah sistem pendingin evaporatif. Pendinginan dengan Indirect Evaporative Cooling dilakukan dalam penukar panas dan massa yang terdiri dari dua jenis saluran, yaitu saluran udara primer dan sekunder. Saluran udara sekunder dengan pelat tertutup air dan saluran udara primer dengan pelat polos disusun dalam rangkaian berulang [2]. Sistem pendingin evaporatif merupakan sistem pengkondisian udara yang menggunakan air sebagai media pendinginan dan menambah kelembaban pada aliran udara, sehingga temperatur bola kering menjadi lebih dingin. Udara dalam proses penguapan dibedakan atas suhu bola kering (dry bulb temperature) dan suhu bola basah (wet bulb temperature). Dalam proses pengkondisian suhu

udara, teknologi IEC banyak diperhatikan karena hemat energi dan bebas polusi [3].

Siklus Maisotsenko (M-cycle) menerapkan desain yang ditingkatkan dari pendinginan evaporatif tidak langsung. Berbeda dengan sistem evaporasi konvensional yang hanya menggunakan satu tahap evaporasi, M-cycle menggunakan pendekatan multi-evaporasi untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi dari 105% [4]. Dengan memanfaatkan saluran tanpa Venturi, sistem ini mungkin mengoptimalkan efisiensi dengan tidak mengubah kecepatan aliran serta tekanan udara dan mengurangi kerumitan yang terkait dengan perangkat tambahan. Tipe aliran pada sistem ini menggunakan aliran parallel flow dimana arah aliran udara kerja dan udara yang didinginkan searah. 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 *parallel flow*.

## 2. Dasar Teori

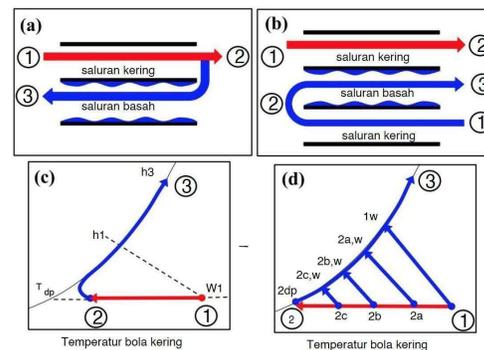
### 2.1 Pendingin Evaporatif Tidak Langsung

Dalam proses pendinginan evaporatif tidak langsung, aliran udara utama yang akan didinginkan dipisahkan dari permukaan yang dibasahi oleh pelat datar atau dinding tabung.[5] Udara sekunder mengalir di dalam saluran basah bersama dengan air. Perilaku udara dan air di saluran basah mirip dengan proses enaporatif langsung. Panas yang dipindahkan melalui permukaan antara saluran kering dan basah diserap oleh air sebagai panas laten dan bagian air diuapkan dengan difusi ke udara sekunder, meningkatkan kadar air di udara ini. Kelemahan utama evaporatif langsung diwakili oleh peningkatan kadar air di udara yang mungkin tidak diinginkan untuk aplikasi tertentu[6].

### 2.2 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. M-Cycle adalah proses termodinamika yang menangkap energi dari udara dengan memanfaatkan energi terbarukan psikrometrik yang tersedia dari panas laten air yang menguap ke udara. Ini menggabungkan proses termodinamika

perpindahan panas dan pendinginan evaporatif untuk memfasilitasi suhu produk untuk mencapai suhu titik embun udara sekitar. Dengan kata lain, ini juga merupakan pendinginan evaporatif tidak langsung (IEC) lanjutan di mana udara dapat didinginkan hingga suhu titik embun daripada suhu bola basah. Namun, selain udara dingin, M-Cycle menghasilkan udara panas jenuh yang dibutuhkan oleh banyak aplikasi. Teknologi M-Cycle telah menjadi subjek dari banyak penelitian dalam hal pemodelan matematika, pengembangan penukar panas, kinerjanya, dan kemungkinan penerapannya di berbagai sistem pendingin udara [2].



**Gambar 2. 1** Diagram skematik Siklus Maisotsenko untuk: (a) Siklus-M lama, (b) Siklus-M yang dimodifikasi, (c) representasi psikrometrik, dan (d) penurunan suhu berurutan di saluran basah.

Prinsip dasar dan fitur M-Cycle dapat dijelaskan dari Gambar. 2.1 (a) dan (b) masing-masing mewakili M-Cycle yang lama dan yang dimodifikasi. Representasi psikrometrik dari M-Cycle lama dan termodifikasi ditunjukkan pada Gambar 2.1(c). Ini terdiri dari dua jenis saluran primer yang disebut saluran basah dan kering. Produk serta saluran kerja dikhususkan untuk aliran udara dalam kasus Siklus-M lama (Gbr. 2.3a), sedangkan Siklus-M yang dimodifikasi (Gambar. 2.1b) memberikan kebebasan untuk memulihkan panas dari cairan/gas apa pun dengan menggunakan saluran kering tambahan. Untuk aplikasi pendinginan dan AC, udara produk/proses mengalir ke saluran kering sedangkan udara kerja mengalir ke saluran basah. Misalnya, udara ambient (1) dialirkan ke saluran kering dimana udara tersebut didinginkan secara masuk akal pada kelembapan konstan ke titik siklus (2) dengan memindahkan panas ke saluran basah. Prinsip operasional M-Cycle didasarkan pada pengalihan udara dingin (2) ke saluran basah untuk digunakan sebagai

udara kerja. Ini menghasilkan penurunan suhu bola kering efektif (1 - 2a; 2b; 2c; 2) dan bola basah (1w - 2a,w; 2b,w; 2c,w; 2dp) dari udara kerja di lingkungan basah. - saluran seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.1 (d).

## 2.2 Suhu Bola Kering

Pengukuran bola kering pada dasarnya mengacu pada suhu udara atau lingkungan sekitar. Suhu bola kering disebut bola kering karena kelembaban tidak mempengaruhi suhu udara yang ditunjukkan oleh termometer. Suhu bola kering dapat diukur dengan termometer biasa, tetapi terlindung dari radiasi dan kelembapan. Suhu bola kering merupakan indikator kandungan panasnya [7].

## 2.3 Diagram Psikometri

Pada beberapa proses pengkondisian udara, kandungan air sengaja disingkirkan dari udara, tetapi pada proses yang lain air ditambahkan. Ada beberapa istilah yang dipakai dalam diagram psikometri ini yaitu seperti temperatur bola kering, temperatur bola basah, kelembapan udara, kelembapan relatif volume spesifik, titik embun dan entalpi [8]

## 2.4 Laju Aliran

Dari pendingin evaporative regenerative, peningkatan laju aliran udara dapat mengurangi efektivitas titik embun. Efek pendinginan berkurang karena laju aliran yang meningkat mengurangi waktu interaksi pertukaran panas dan massa. Kapasitas pendinginan pendingin evaporatif regeneratif meningkat karena peningkatan massa udara pasokan meningkatkan perpindahan panas. Suhu udara suplai meningkat pada kecepatan yang lebih tinggi tetapi didominasi oleh laju aliran massa yang lebih tinggi dalam hal peningkatan kapasitas pendinginan pendingin evaporatif. Perbedaan dalam kapasitas pendinginan untuk semua konfigurasi berada pada kisaran yang lebih dekat pada kecepatan rendah sementara secara signifikan besar pada kecepatan udara primer yang lebih tinggi [9].

## 2.5 DPE (Dew Point Effectiveness)

Kondisi inlet dan outlet udara proses dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem pendinginan evaporatif titik embun dengan menggunakan dua indeks, yaitu efektivitas bola basah dan titik embun. Konfigurasi sistem pendinginan evaporatif titik embun telah diusulkan dengan menggunakan pengaturan arus balik untuk semua fluida yang

mengalir [10]. Konfigurasi desain dirangkum sebagai berikut:

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

Dimana:

$$\varepsilon_{dp} = \text{Dew point effectiveness (\%)}$$

TdB.in = Temperatur bola kering udara primer inlet (°C)

Tdb.out = Temperatur bola kering udara primer outlet (°C)

Tdp.in = Temperatur *dew point* udara primer inlet (°C)

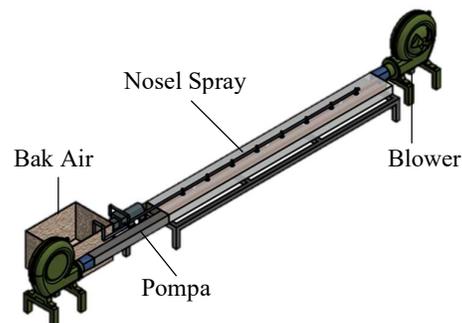
## 3. Metode Penelitian

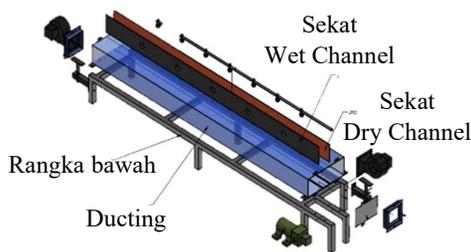
### 3.1 Alat dan bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

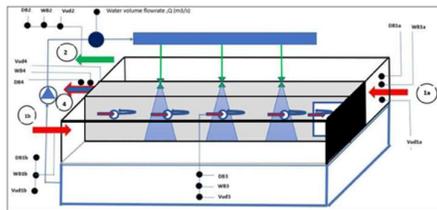
1. UNI-T UT333 *Thermometer Hygrometer Humidity*
2. *Digital wind anemometer*
3. Pompa pengabut
4. *Nozzel*
5. Dimer
6. *Stopwatch*
7. Plat alumunium dan tembaga
8. Blower keong
9. Gerinda dan bor
10. Alumunium foil

### 3.2 Rangkaian Alat Uji





Gambar 3. 1 Alat uji non-venturi counter flow



Gambar 3. 3 Sistem Maisotsenko non-venturi dry channel 5 laluan udara aliran parallel flow

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

### 3.3 Cara Kerja Alat Uji

Aliran udara primer dan udara sekunder akan masuk masing-masing kedalam dry channel tanpa laluan udara dan dry channel dengan laluan udara. Udara primer dan udara sekunder memiliki kecepatan aliran, temperatur inlet dan kelembaban yang sama pada saat masuk ke dry channel. Panas udara primer akan ditransfer secara konveksi pada dinding luar wet channel kemudian merambat secara konduksi masuk ke dinding bagian dalam

wet channel. Panas sensibel udara primer pada dinding bagian dalam wet channel ini akan diserap oleh kabut air yang disemprotkan melalui nozel dari arah atas aliran udara wet channel secara bersilangan, dimana terjadi proses evaporasi. Pada sistem M- IEC ini, udara yang didinginkan (udara primer) tidak mengalami kontak langsung dengan air (indirect evaporative cooling), sehingga udara produk yang dihasilkan memiliki kandungan uap air yang sama dengan udara inletnya (udara luar). Sedangkan udara sekunder pada wet channel, akan mengalami kontak langsung dengan air (direct evaporative cooling) dan luarnya adalah udara yang lebih panas dan lebih basah.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Data Hasil Penelitian

Pengujian eksperimental pada sistem ini dilakukan pada variasi kecepatan aliran 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 4. 1 Data distribusi temperatur udara pada kecepatan 5 m/s

Waktu (Menit)	TdB1a (°C)	TdB 2 (°C)	DPT (°C)
5	33,9	31,9	24,4
10	34,5	32,35	24,6
15	35,4	32,7	25
20	35,6	32,85	25,2
25	35,8	32,95	25,5
30	35,8	32,95	26
Rata-rata	35,17	32,62	24,4

Tabel 4. 2 Data distribusi temperatur udara pada kecepatan 7 m/s

Waktu (Menit)	TdB1a (°C)	TdB 2 (°C)	DPT (°C)
5	32,9	32,3	26
10	32,9	32,2	26,2
15	33,5	32,8	25,8
20	33,8	32,6	26,1
25	34,3	32,9	26,2
30	34,6	33,05	26,4
Rata-rata	33,67	32,64	26,12

**Tabel 4. 3** Data distribusi temperatur udara pada kecepatan 9 m/s

Waktu (Menit)	TdB1a (°C)	TdB 2 (°C)	DPT (°C)
5	35,4	33,25	24,7
10	36,0	34,05	25,4
15	36,3	34,15	25,2
20	36,2	34	25,2
25	36,3	34,15	26,2
30	35,9	33,9	25,3
Rata-rata	36,02	33,92	25,33

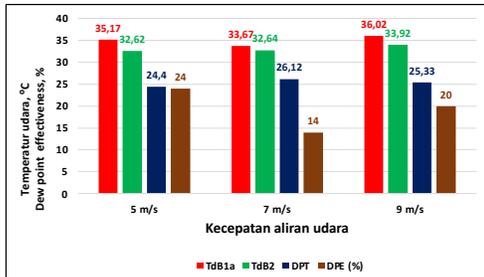
$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB.in} - T_{dB.out}}{T_{dB.in} - T_{dp}} \times 100\%$$

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

$$\varepsilon_{dp} = \frac{35,17 - 32,62}{35,17 - 24,4} \times 100\% = 24\%$$

$$\varepsilon_{dp2} = \frac{33,67 - 32,64}{33,67 - 26,12} \times 100\% = 14\%$$

$$\varepsilon_{dp3} = \frac{35,02 - 33,92}{36,02 - 25,33} \times 100\% = 20\%$$



**Gambar 4. 1** Grafik temperatur dan dew point effectiveness

#### 4.2 Pembahasan

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 5 m/s yakni sebesar 24%, sedangkan DPE terendah terjadi pada kecepatan aliran udara 7 m/s yakni sebesar 14%. Hasil DPE tinggi pada kecepatan aliran udara 5 m/s didapat karena udara dengan kecepatan aliran yang rendah dan temperatur inlet yang lebih tinggi, akan menghasilkan kapasitas panas yang lebih besar pada aliran udara tersebut. Dengan kapasitas panas udara yang lebih besar yang dialirkan dan kecepatan aliran yang rendah, maka akan lebih banyak panas sensibel udara terserap oleh plat

penukar panas secara konveksi, sehingga menghasilkan selisih temperatur bola kering yang lebih besar dengan waktu tinggal dalam saluran lebih lama sehingga pertukaran temperatur terjadi lebih lama daripada kecepatan yang lebih tinggi. Dengan demikian secara proporsional akan dihasilkan DPE yang lebih tinggi. 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* temperatur udara tersebut, serta juga kecepatan aliran udaranya.

#### 5. Kesimpulan

DPE sangat bergantung pada temperatur udara masuk dan kecepatan aliran udara. Semakin tinggi temperatur udara yang masuk dan semakin rendah kecepatan aliran udara, maka semakin besar selisih udara yang diturunkan.

#### Daftar Pustaka

- [1.] Gunawan, T., Tanujaya, H., & Aziz, A. (2014). Uji Eksperimental Mesin Pendingin Berpendingin Air Dengan Menggunakan Refrigeran R22 Dan Refrigeran R407c. *POROS*, 12(2), 165-172.
- [2.] 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.
- [3.] Zhang, H., Ma, H., Ma, S., & Yang, M. (2021). Investigation on the performance of an indirect evaporative cooling system integrated with liquid dehumidification. *Energy and Buildings*, 251, 111356.
- [4.] Hasan, A. (2010). Indirect evaporative cooling of air to a sub-wet bulb temperature. *Applied Thermal Engineering*, 30(16), 2460-2468.
- [5.] Nuriyadi, N., & Muhammad, M. (2019). Perbandingan Kinerja Sistem Pendingin Evaporatif Jenis Langsung dan Tak Langsung. *EDUSAINTEK*, 3.
- [6.] Khalid, O., Muzaffar Ali. (2015). Experimental analysis of an improved

- Maisotsenko cycle design under low velocity conditions. Mechanical Engineering Department, University of Engineering and Technology Taxila, Pakistan.
- [7.] Dizaji, H. S., Eric Jing Hu. (2018). A comprehensive review of the Maisotsenko- cycle based air conditioning systems. School of Mechanical Engineering, The University of Adelaide, Adelaide, SA 5005, Australia.
- [8.] Ridhuan, K., & Refai, A. (2013). Analisa Kebutuhan Beban Pendingin dan Daya Alat Pendingin AC Untuk Aula Kampus 2 UM Metro. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 2(2).
- [9.] Kashyap, S., Jahar Sarkar. (2020). Comparative performance analysis of different novel regenerative evaporative cooling device topologies. Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology (B.H.U.), Varanasi, UP 221005, India.
- [10.] Riangvilaikul, B., & Kumar, S. (2010). An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system. *Energy and Buildings*, 42(5), 637-644.

	<p>Moch. Nurul Tajri menempuh pendidikan program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2019 dan menyelesaikannya pada tahun 2024 dengan topik penelitian Pengaruh Kecepatan Aliran Udara terhadap <i>Dew Point Effectiveness</i> Pada Sistem Pendinginan <i>Maisotsenko Indirect Evaporative Cooling Non-Ventury</i> Dengan Aliran Udara Horizontal <i>Parallel Flow</i>. Bidang penelitian yang menjadi konsentrasi pada penelitian tersebut adalah KONVERSI ENERGI</p>
---	---