

# Studi Eksperimental Performansi Sistem Pendinginan Maisotsenko Udara Parallel Flow Dengan Variasi Laju Aliran Massa Udara Sekunder

Abdi Ekel Permana Ginting, Hendra Wijaksana, dan I Gede Teddy Prananda Surya

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Sistem pendinginan evaporatif langsung dan tidak langsung digunakan sebagai teknik pendingin dan cspendingin udara berbiaya rendah. Tidak seperti sistem kompresi uap konvensional, sistem ini ramah lingkungan tetapi tidak dapat digunakan dalam banyak situasi karena keterbatasan termodinamika. Misalnya, sistem AC ini ditemukan tidak layak dalam kasus kondisi iklim di Oman dan Arab Saudi. Dalam hal ini, Siklus Maisotsenko (Siklus-M) secara aktif terhubung dengan sistem penghasil dan pengonsumsi energi yang disebutkan di atas. Siklus ini dapat memainkan peran penting untuk membangun sistem HVAC dan pendinginan yang canggih untuk berbagai aplikasi.. Penelitian pada sistem pendinginan maisotsenko ini menggunakan pola udara parallel flow dengan memvariasikan laju aliran massa udara sekunder 0,055296 kg/s, 0,041472 kg/s dan 0,027648 kg/s. Pada penelitian sistem maisotsenko ini di dapatkan hasil selisih penurunan temperatur bola kering tertinggi terjadi pada laju aliran massa udara sekunder 0,027648 kg/s . Pada efektivitas bola basah tertinggi dihasilkan pada laju aliran massa udara sekunder 0,027648 kg/s dan laju aliran massa udara sekunder 0,0411472. Serta untuk dew point effectiveness (DPE) tertinggi dihasilkan pada laju aliran massa udara sekunder 0,0411472 kg/s. Sedangkan pada laju aliran massa udara sekunder 0,055296 kg/s kapasitas pendinginan dan ER mencapai nilai tertinggi yang masing-masing sebesar 0,09 Kw dan 0,17%..

Kata kunci: Pendinginan evaporative, M-IEC, variasi laju aliran massa udara sekunder, parallel Flow, distribusi temperature udara, selisih penurunan temperature, efektivitas bola basah, efektivitas titik embun, kapasitas pendinginan, laju pendinginan dan energi ratio.

## Abstract

Direct and indirect evaporative cooling systems are used as low-cost refrigeration and air conditioning techniques. Unlike conventional vapor compression systems, these systems are environmentally friendly but cannot be used in many situations due to thermodynamic limitations. For example, these air conditioning systems are found to be unfeasible in the case of climatic conditions in Oman and Saudi Arabia. In this case, the Maisotsenko Cycle (M-Cycle) is actively connected with the above-mentioned energy producing and consuming systems. This cycle can play a vital role in building advanced HVAC and refrigeration systems for various applications. The study on this Maisotsenko cooling system used a parallel flow air pattern by varying the secondary air mass flow rate of 0.055296 kg/s, 0.041472 kg/s and 0.027648 kg/s. In this Maisotsenko system study, the results obtained were that the highest difference in dry bulb temperature reduction occurred at a secondary air mass flow rate of 0.027648 kg/s. The highest wet bulb effectiveness is produced at a secondary air mass flow rate of 0.027648 kg/s and a secondary air mass flow rate of 0.0411472. And for the highest dew point effectiveness (DPE) is produced at a secondary air mass flow rate of 0.0411472 kg/s. While at a secondary air mass flow rate of 0.055296 kg/s the cooling capacity and ER reach the highest values of 0.09 Kw and 0.17% respectively..

Keywords: Evaporative cooling, M-IEC, variations in secondary air mass flow rate, parallel Flow, air temperature distribution, temperature drop difference, wet bulb effectiveness, dew point effectiveness, cooling capacity, cooling rate and energy ratio

## 1. Pendahuluan

Penurunan kinerja pembangkit listrik turbin gas selama musim panas telah meyakinkan para spesialis untuk mengusulkan berbagai teknik pengurang suhu udara masuk. Panas bebas yang dapat diakses pada pembuangan turbin membentarkan penggunaan pendingin serapan sebagai solusi potensial. Namun, berdasarkan evaluasi penelitian saat ini, hampir untuk semua kondisi iklim, diperlukan pendingin serapan berkapasitas/ukuran/jumlah yang besar untuk

mencapai kondisi ISO (15°C dan RH 100% yang merupakan titik desain turbin gas) yang berarti biaya awal, operasi, dan pemeliharaan yang cukup besar.

Karena pendingin siklus-M (yang memiliki struktur yang sangat sederhana dan biaya yang lebih rendah) mampu mengurangi suhu udara hingga suhu titik embun tanpa menambahkan kelembapan, penelitian saat ini mengusulkan siklus terpadu siklus-M dan pendingin serapan (yang secara signifikan mengurangi seluruh biaya proses pendinginan). Dari perspektif sistem yang mengonsumsi energi yang disebutkan di atas, sistem pendinginan evaporatif langsung dan tidak langsung digunakan sebagai teknik pendingin dan pendingin udara berbiaya rendah. Tidak seperti sistem kompresi uap konvensional, sistem ini ramah lingkungan tetapi tidak dapat digunakan dalam banyak situasi karena keterbatasan termodinamika.

Misalnya, sistem AC ini ditemukan tidak layak dalam kasus kondisi iklim di Oman dan Arab Saudi.

Dalam hal ini, Siklus Maisotsenko (Siklus- M) secara aktif terhubung dengan sistem penghasil dan pengonsumsi energi yang disebutkan di atas. Siklus ini dapat memainkan peran penting untuk membangun sistem HVAC dan pendinginan yang canggih untuk berbagai aplikasi. Selain itu, ia dapat meningkatkan siklus daya turbin gas yang ada untuk mencapai efisiensi termal yang lebih tinggi dengan menyediakan pendinginan udara masuk, udara yang dilembabkan, dan pemulihan panas buangan. M- Cycle secara unik menggabungkan proses termodinamika perpindahan panas dan pendinginan evaporatif titik embun dengan memanfaatkan energi terbarukan psikrometrik yang tersedia dari panas latent air yang menguap ke udara. Dengan satu cara, ia memungkinkan suhu produk (yaitu udara atau cairan apa pun) mendekati suhu titik embun udara sekitar. Dengan cara lain, ia bertindak sebagai rekuperator pelembab secara berurutan. Oleh karena itu, ia dapat digunakan sebagai pendingin sekaligus pemanas pelembab secara bersamaan dalam aplikasi HVAC dan pendinginan.

Pada penelitian ini sistem pendinginan M- Cycle menggunakan tipe non-venturi alasannya adalah agar udara yang masuk ke dalam dry channel mendapatkan kontak yang lebih lama pada dinding wet channel karena kecepatan udara masuk tipe non venturi cenderung lebih lambat dibandingkan dengan tipe venturi, jika menggunakan venturi maka kecepatan udara masuk ke dry channel akan meningkat sehingga mengurangi kontak udara panas dari dry channel dengan dinding wet channel otomatis panas udara dari dry channel lebih sedikit diserap pada dinding wet channel berbeda dengan tipe non- venturi panas didalam saluran kering dapat diserap lebih banyak oleh dinding wet channel. Selain itu alirannya adalah parallel flow, diharapkan dapat memberikan perpindahan panas yang tinggi antara saluran dry channel primer dengan wet channel sehingga kapasitas pendinginannya juga dapat meningkat.

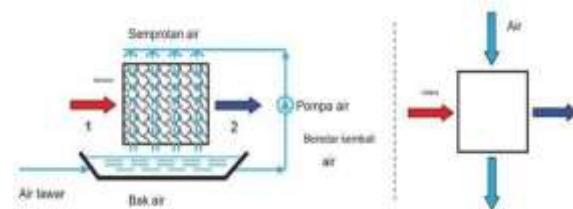
## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Pendinginan Evaporative Langsung

Pendingin evaporative langsung (direct evaporative cooling) adalah sistem yang digerakkan oleh listrik, namun menggunakan sebagian kecil daya untuk sirkulasi udara dan air. Skema prinsip kerja peralatan DEC disajikan pada Gambar 1 sebagai berikut: Udara hangat masuk (1) masuk ke bantalan yang disemprotkan dengan air pada suhu wet bulb (WB) udara masuk. Perpindahan panas diwujudkan dari udara hangat ke air dingin. Panas dipindahkan oleh aliran udara sebagai panas sensibel dan diserap oleh air sebagai panas laten. Sesuai dengan nilai panas laten, sebagian air yang diuapkan tertanam melalui difusikeudarayang

mengalir, meningkatkan kadar air di udara ini. Suhu udara keluar (2) berkurang karena panas

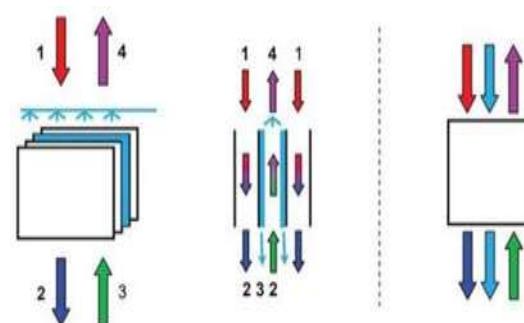
sensibel yang dipindahkan oleh udara, tetapi entalpi udara keluar akan sama dengan entalpi udara masuk sebagai efek dari panas latent yang dikembalikan ke udara sebagai uap air.[1]



Gambar 1. Pendinginan Evaporative langsung

### 2.2 Pendinginan Evaporative Tidak Langsung

Pendingin evaporative tidak langsung (indirect evaporative cooling) adalah pendinginan dengan mengurangi panas sensibel udara tanpa mengubah kelembapannya. Prinsip kerja IEC adalah Udara primer (atau produk) yang hangat (1) mengalir di dalam saluran kering dan memindahkan panas melalui permukaan panas ke saluran basah. Di saluran keluar, udara primer (atau produk) (2) akan memiliki suhu yang lebih rendah daripada di saluran masuk, karena panas yang dipindahkan. Udara sekunder (bekerja) (3) mengalir di dalam saluran basah bersama dengan air. Perilaku udara dan air di saluran basah mirip dengan proses DEC. Suhu air adalah suhu WB udara sekunder. Panas yang dipindahkan melalui permukaan antara saluran kering dan basah diserap oleh air sebagai panas latent dan bagian air yang sesuai diuapkan dengan difusi ke udara sekunder, meningkatkan kadar air di udara ini. Jika udara sekunder tiba pada keadaan jenuh, setelah tahap ini ke depan panas udara primer dipisahkan sebagai panas latent yang diserap oleh air dan sebagai panas sensibel yang diserap oleh udara sekunder. Dengan demikian, temperatur udara sekunder pada saluran keluar (4) dapat menjadi Lebih rendah dari suhu WB udara sekunder di saluran masuk.



Gambar 2. Pendinginan evaporative tidak langsung

### 2.3 Siklus Maisotsenko (M-Cycle)

Siklus Maisotsenko (M-Cycle) dianggap sebagai pengembangan dari teknologi (IEC) yang terkenal dengan aliran udara sekunder prapendinginan sebelum memasuki saluran udara sekunder. Karena suhu aliran udara sekunder yang lebih rendah, M- Cycle terbukti memiliki potensi pendinginan yang tinggi dan batas pendinginan dapat memperoleh suhu titik embun aliran udara masuk [2]. Skema prinsip kerja dan alur yang disederhanakan akan disajikan sebagai berikut: Udara primer luar yang hangat (1) mengalir di dalam saluran kering khusus dan mentransfer panas melalui permukaan panas ke saluran basah. Di saluran keluar, udara primer (2) akan memiliki suhu mendekati suhu DP udara primer di saluran masuk. Udara sekunder adalah udara luar yang sama (3) dan juga mengalir di dalam saluran kering khusus, tetapi memiliki beberapa jalur ke saluran basah air yang diuapkan disematkan melalui difusi sebagai uap air ke udara sekunder [3].



Gambar 3. Siklus Pendinginan Maisotsenko

### 2.4 Laju Aliran Massa

Efektivitas titik embun dapat meningkat atau menurun dengan peningkatan laju aliran massa udara tergantung pada suhu saluran masuk udara. Peningkatan laju aliran udara mengurangi efektivitas titik embun dari pendingin evaporative. Efek pendinginan berkurang karena laju aliran yang meningkat mengurangi waktu interaksi pertukaran panas dan massa.[4]

### 2.5 Temperature Dry Bulb (Bola Kering)

Suhu bola kering adalah suhu udara yang paling umum digunakan. Pengukuran bola kering pada dasarnya mengacu pada suhu udara atau media di sekitarnya [5].

### 2.6 Temperature Wet Bulb (Bola Basah)

Temperature bola basah adalah rasio perbedaan antara suhu udara masuk dan keluar terhadap perbedaan asupan temperatur udara dan temperatur bola basahnya. Suhu bola basah yang meningkat mengurangi ruang lingkup penguapan air yang lebih banyak yang menghasilkan penurunan suhu yang lebih rendah. Namun, penurunan suhu maksimum yang mungkin juga menurun dan sebagai efek gabungan, efektivitas titik embun dari semua konfigurasi meningkat dengan peningkatan suhu bola basah.

### 2.7 Temperature Dew Point (Suhu Titik Embun)

Titik embun adalah rasio perbedaan suhu bola kering inlet dan outlet dengan perbedaan suhu antara bola kering inlet dan suhu titik embun yang sesuai.

### 2.8 Kapasitas Pendinginan

Didefinisikan sebagai perbedaan entalpi antara udara suplai dan udara produk [6].

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Konsep Penelitian

Penelitian akan dilakukan secara eksperimental pada alat pendinginan siklus maisotsenko udara parallel flow dengan variasi laju aliran massa udara sekunder 0,055296 kg/s, 0,041472 kg/s dan 0,027648 kg/s terhadap laju aliran massa udara primer yang konstan pada laju aliran massa udara 0,06912 kg/s. Adapun tahapan-tahapan penelitiannya sebagai berikut

1. Observasi dan studi literatur.
2. Persiapan alat dan bahan serta pemasangan alat ukur.
3. Pengujian sistem pendinginan Maisotsenko udara counter flow dengan variasi laju aliran massa udara sekunder.
4. Pencatatan data.
5. Penganalisan data,pembahasan,pembuatan grafik dan Kesimpulan.

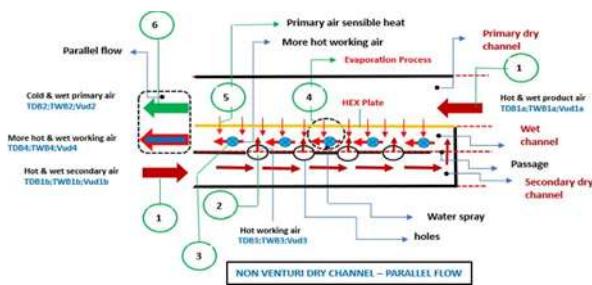
### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

1. UNI-T UT333 Thermometer Hygrometer Humidity.
2. HT-9815 Thermocouple 4 Channel HTI HT9815 Probe Termometer Termocouple.
3. Digital wind anemometer - dengan range 0 – 30 m/s.
4. Pompa pengabut.
5. Nozzel.
6. Dimer.
7. Stopwatch.
8. Plat alumunium dan plat tembaga.
9. Riped dan paku ripped.
10. Gerinda dan Bor.
11. Blower Keong.
12. Flexible hose.
13. Alumunium Foil.
14. Glasswool.

### 3.3 Cara Kerja Alat Uji

1. udara lingkungan akan masuk melalui inlet primary dry channel dan inlet secondary dry channel dengan variasi laju aliran massa udara sekunder : primer. Maka dengan variasi laju aliran massa, udara sekundernya diatur masing-masing secara berurutan dengan kecepatan aliran udara primer 1, 2 dan 3 sebesar 7,2m/s, 5,4m/s, dan 3,6m/s,

- sedangkan kecepatan aliran udara primer, baik untuk kecepatan aliran udara primer 1, 2, dan 3 akan dijaga konstan sebesar 9m/s.
2. udara sekunder pada secondary dry channel, selanjutnya akan masuk pada wet channel melalui setiap lubang (terdapat 5 lubang) dan satu laluan pada dinding wet channel yang selanjutnya akan disebut sebagai udara kerja
  3. Udara kerja pada wet channel ini, selanjutnya akan mengalami kontak langsung (secara cross flow) dengan kabut air yang disemprotkan oleh water sprayer dan akan terjadi proses direct evaporative cooling, dimana terjadi kontak langsung antara udara kerja dan kabut air.
  4. Kontak langsung antara udara dengan kabut air akan mengakibatkan terjadinya proses evaporasi, dimana panas udara kerja akan diserap oleh kabut air sehingga air akan menguap. Dengan diserapnya panas udara kerja oleh kabut air, maka udara kerja akan mengalami penurunan suhu atau udara kerja akan menjadi lebih dingin.
  5. Setelah ditransfer secara konveksi lalu konduksi melalui dinding heat exchanger plate (HEX plate) pada sisi udara primer menuju dinding HEX plate pada sisi wet channel. dimana terjadi pendinginan indirect evaporative udara primer oleh udara kerja.
  6. Proses indirect evaporative cooling udara primer oleh udara kerja pada wet channel melalui HEX plate akan menghasilkan udara primer yang lebih rendah temperaturnya dengan kelembaban absolut yang konstan, yang keluar melalui outlet primary dry channel sebagai udara produk. Karena proses pendinginan indirect evaporative, maka kelembaban absolut udara produk akan tetap konstan sama dengan kelembabannya pada inlet primary dry channel.



**Gambar 4. Prinsip kerja sistem maisotsenko aliran counter flow**

### 3.4 Prosedur Pengujian

(1) Pemasangan alat uji sistem Maisotsenko dilakukan di Lab. Keahlian. (2) Alat pengukuran temperatur bola kering serta kecepatan aliran udara dipasang pada sisi inlet udara primer, sisi inlet udara

sekunder, sisi outlet udara produk, dan sisi outlet udara kerja pada saluran basah dan saluran kering. (3) Blower dihidupkan dan kecepatan aliran udara primer dan sekunder, dengan  $m$  udara sekunder sebesar 0,0553 kg/s dan udara primer sebesar 0,0691 kg/s. (4) Pompa pengabut air juga dihidupkan. (5) Setelah semua sistem aktif, sistem dibiarkan stabil sebelum pengujian dilakukan dengan pencatatan data setiap 5 menit selama 30 menit. (6) Setelah 30 menit, blower dan pompa dimatikan, dan sistem didiamkan selama 30 menit hingga suhu udara pada saluran basah dan kering kembali ke temperatur awal. (7) Langkah-langkah ini diulang untuk rasio kecepatan aliran udara sekunder 0,6 (Vud.sekunder2.primer2 = 5,4 m/s : 9,0 m/s) dan rasio 0,4 (Vud.sekunder3.primer3 = 3,6 m/s : 9,0 m/s), di mana  $m$  udara sekunder 2 dan sekunder 3 berturut-turut adalah 0,0553 kg/s, 0,0415 kg/s, dan 0,0276 kg/s, dengan  $m$  udara primer tetap pada 0,0691 kg/s. (8) Pengujian selesai.

## 4. HASIL dan PEMBAHASAN

### 4.1. Data Hasil Penelitian

Pengujian eksperimental dilakukan pada sistem pendinginan Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling. Pengambilan data pada penelitian dilakukan melalui hasil dari eksperimental dan hasil dari perhitungan pada diagram psikometrik chart. Adapun hasil distribusi temperatur dapat dilihat masing-masing secara berurutan pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3. Untuk data hasil perhitungan menggunakan diagram psikometrik chart dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

**Tabel 1. Data untuk laju aliran massa sekunder 0,055296 kg/s**

Waktu (Menit)	Temperatur Bola Basah (Wb), Bola Kering (Db), dan Titik Embun (Dp) Dalam Satuan °C												Absolute ratio g/kg(d.a)	
	Tdb <sub>1a</sub> (°C)	Twb <sub>1a</sub> (°C)	Rh <sub>1a</sub> (%)	T <sub>dew</sub> (°C)	Tdb <sub>2b</sub> (°C)	Twb <sub>2b</sub> (°C)	Rh <sub>2b</sub> (%)	Tdb <sub>2z</sub> (°C)	Twb <sub>2z</sub> (°C)	Rh <sub>2z</sub> (%)	Tdb <sub>3b</sub> (°C)	Twb <sub>3b</sub> (°C)	Rh <sub>3b</sub> (%)	
5	34,1	26,1	56,3	24,3	32,5	25,8	61,9	32,8	25,8	60,9	28,1	25,9	88,7	19,18
10	34,4	25,4	51,7	23	33,1	25,1	55,6	32,2	24,9	58,5	28,5	26,5	89,9	17,78
15	34,8	25,4	50,2	22,9	33,6	25,2	53,7	33,3	25,1	54,6	28,7	26,7	90,1	17,65
20	34,5	25,7	52,7	23,4	32,6	25,2	58,6	33,2	25,4	56,6	28,5	26,5	90,3	18,21
25	35	25,9	51,6	23,6	33,5	25,5	56,1	33,5	25,5	56,1	28,7	26,7	90,4	18,36
30	34,8	25,8	52,2	23,5	33,5	25,5	56,1	33,4	25,5	56,4	28,7	26,8	90,5	18,35
i	34,6	25,7	52,45	23,5	33,1	25,3	57	33	25,3	57,2	28,5	26,5	90	18,25

**Tabel 2. Data untuk laju aliran massa udara sekunder 0,041472 kg/s**

Waktu (Menit)	Temperatur Bola Basah (Wb), Bola Kering (Db), dan Titik Embun (Dp) Dalam Satuan °C												Absolute ratio g/kg(d.a)	
	Tdb <sub>1a</sub> (°C)	Twb <sub>1a</sub> (°C)	Rh <sub>1a</sub> (%)	T <sub>dew</sub> (°C)	Tdb <sub>2b</sub> (°C)	Twb <sub>2b</sub> (°C)	Rh <sub>2b</sub> (%)	Tdb <sub>2z</sub> (°C)	Twb <sub>2z</sub> (°C)	Rh <sub>2z</sub> (%)	Tdb <sub>3b</sub> (°C)	Twb <sub>3b</sub> (°C)	Rh <sub>3b</sub> (%)	
5	36	27,2	54,3	25,3	34,3	26,9	59,6	34,1	26,8	60,3	28,3	26	87,6	20,47
10	36,5	27,5	53,6	25,6	34,7	27,1	59,2	34,8	27	60,2	28,3	26,3	88,6	20,79
15	36,8	27	49,9	24,8	34,8	26,5	56,7	34,6	26,5	56,3	28,2	26,1	89,0	19,62
20	36,4	28,7	50,3	24,4	34,4	26,3	58,2	34,4	26,3	56,2	28,2	26,1	89,2	19,36
25	36,6	28,8	49,9	24,4	34,4	26,3	56,2	34,5	26,3	55,9	28,2	26,1	89,5	19,37
30	36,5	28,7	49,9	24,4	34,4	26,2	56	34,6	26,3	55,8	28,3	26,4	89,5	19,30
i	36,4	27	51,3	24,8	34,5	26,3	57,1	34,4	26,5	57,3	28,2	26,1	88,9	19,81

**Tabel 3. Data untuk laju aliran massa sekunder 0,027648 kg/s**

Waktu (Menit)	Temperatur Bola Basah (Twb), Bola Kering (Tdb), dan Titik Embun (Dp) Dalam Satuan °C													
	Tdb 1a (°C)	Twb 1a (°C)	Rh 1a (%)	T dew 1a	Tdb 1b (°C)	Twb 1b (°C)	Rh 1b (%)	Tdb 2 (°C)	Twb 2 (°C)	Rh 2 (%)	Tdb 3 (°C)	Twb 3 (°C)	Rh 3 (%)	Absolute ratio g/kg(d.a)
5	36,2	26,3	49,2	23,9	34,1	25,9	55,3	34,2	25,9	55,0	28,3	26,1	38,0	18,72
10	36,7	26,5	47,8	23,8	34,7	26	53,4	34,6	26	53,7	28,5	26,3	38,4	18,69
15	36,8	26,5	47,8	23,9	34,8	26,1	53,3	34,8	26,1	53,3	28,4	26,3	38,1	18,76
20	37,0	27,1	49,7	24,8	35,1	26,7	55,2	34,8	26,6	56,1	28,7	26,6	38,3	19,78
25	37,1	27,4	50,7	25,2	36,0	27,1	53,9	35,1	26,9	56,6	29,6	27,4	38,4	20,30
30	36,6	27	50,8	24,7	35,5	26,8	53,9	34,5	26,5	57,0	29,1	27	38,5	19,76
$\bar{x}$	36,7	26,8	49,3	24,4	35	26,4	54,1	34,6	26,3	55,2	28,7	26,6	38,9	19,34

#### 4.2 Selisih Penurunan Temperature Bola Kering (Temperature Drop)

Selisih penurunan temperature bola kering (temperature drop) merupakan selisih temperatur bola kering inlet dan outlet pada saluran udara primer sistem pendinginan Maisotsenko dan dapat ditentukan menggunakan persamaan dibawah

$$\Delta Tdb = Tdb_{in} - Tdb_{out} = Tdb_{1a} - Tdb_2 \quad (1)$$

Tabel 4 Selisih penurunan Tdb

m.udara(kg/s)	Tdb1a (°C)	Tdb2 (°C)	ΔTdb (°C)
0,05296	34,6	33,0	1,6
0,0411472	36,4	34,4	2
0,027648	36,7	34,6	2,1

Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa selisih penurunan temperatur bola kering tertinggi didapat pada laju aliran massa udara sekunder 0,027648 kg/s, hal ini menunjukkan bahwa laju aliran massa sekunder yang lebih rendah memiliki waktu kontak yang lebih lama antara udara primer dengan media pendingin sehingga penurunan suhu terbesar terjadi pada laju aliran massa sekunder terendah.

#### 4.3 Efektifitas Bola Basah (Wet Bulb Effectiveness)

Efektifitas Bola Basah merupakan ukuran kemampuan sistem pendingin Maisotsenko untuk mendinginkan udara hingga dibawah temperatur bola basah udara inlet (Twb). Performansi pendinginan ini dapat ditentukan berdasarkan persamaan:

$$\varepsilon_{wb} = \frac{Tdb_{in} - Tdb_{out}}{Tdb_{in} - Twb_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

Tabel 5 Efektivitas Bola Basah

m.udara(kg/s)	Tdb1a (°C)	Tdb2 (°C)	Twb1a (°C)	εwb (%)
0,05296	34,6	33,0	25,7	17,9
0,0411472	36,4	34,4	27	21,2
0,027648	36,7	34,6	26,8	21,2

Tabel 5 memperlihatkan hasil wet bulb effectiveness (WBE) yang mana hasil tertinggi dihasilkan pada laju aliran massa udara sekunder 0,027648 kg/s dan laju aliran massa udara sekunder 0,0411472.

#### 4.4 Efektivitas Titik Embun (Dew Point Effectiveness)

Dew point effectiveness (DPE) merupakan ukuran kemampuan sistem pendingin Maisotsenko untuk mendinginkan udara hingga mendekati temperatur pengembunannya (dew point temperature). Besarnya DPE dapat ditentukan menggunakan persamaan seperti dibawah.

$$\varepsilon_{dp} = \frac{Tdb_{in} - Tdb_{out}}{Tdb_{in} - Tdp_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

Tabel 6. Efektivitas Suhu Titik Embun

m.udara(kg/s)	Tdb1a (°C)	Tdb2 (°C)	TDew1a (°C)	εdp (%)
0,05296	34,6	33,0	23,5	14,4
0,0411472	36,4	34,4	24,8	17,2
0,027648	36,7	34,6	24,4	17

Berdasarkan pada tabel 6 dapat dilihat bahwa dew point effectiveness (DPE) tertinggi dihasilkan pada laju aliran massa udara sekunder 0,0411472 kg/s. Hal ini didapatkan karena selisih antara TBK udara baik (Tdb1a) maupun (Tdb2) dan dew point temperature (DPT).

#### 4.5 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:

$$QC = m \cdot Cp \cdot \Delta T$$

Tabel 7. Kapasitas pendinginan

m.udara (kg/s)	Cp (kJ/kg.K)	ΔTDB(°C)	QC (Kw)
0,05296	1,005	1,6	0,09
0,0411472	1,005	2	0,08
0,027648	1,005	2,1	0,06

Pada tabel 7. dapat dilihat bahwa kapasitas pendinginan tertinggi dihasilkan pada laju aliran massa udara sekunder 0,05296 kg/s. Tingginya kapasitas pendinginan terjadi pada laju aliran massa udara yang lebih tinggi hal ini disebabkan karena sistem pendingin mampu mendinginkan udara yang masuk ke sistem pendingin dengan temperatur bola kering (TBK) inlet yang lebih tinggi.

#### 4.6 Energi Efficiency Ratio (EER)

Energi efficiency ratio (EER) merupakan perbandingan antara kapasitas pendinginan yang dihasilkan dan energi input yang digunakan. Pada pengujian ini digunakan 2 buah blower masing-masing untuk saluran udara primer dan saluran udara kering dengan daya listrik sebesar 250 W dan 260 W. Besarnya EER ini dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$EER = QC$$

$\bar{P}$

(5)

Tabel 8 Energi efficiency ratio

$\dot{m}$ (kg/s)	$Q_c$ (kW)	P (kW)	EER
0,055296	0,09	0,51	0,17
0,0411472	0,08	0,51	0,15
0,027648	0,06	0,51	0,11

Berdasarkan pada Tabel 8. dapat diperlihatkan bahwa energy efficiency ratio (EER) tertinggi dihasilkan pada laju aliran massa udara sekunder 0,055296 kg/s. Dari hasil pengujian tersebut, dapat dikatakan bahwa pada besarnya daya input yang sama, besarnya EER sangat tergantung pada kapasitas pendinginan yang dihasilkan.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada sistem pendinginan maisotsenko pola parallel flow dengan variasi laju aliran massa udara sekunder, didapatkan data dan hasil performansi sistem pendinginannya dengan kesimpulan sebagai berikut:

1. Selisih penurunan temperatur bola kering ( $\Delta TDB$ ) tertinggi didapatkan pada variasi laju aliran massa udara sekunder 0,027648 kg/s dengan penurunan temperatur bola kering sebesar 2,1°C, sedangkan penurunan temperatur bola kering terendah ada pada variasi laju aliran massa udara sekunder 0,055296 kg/s dengan penurunan temperatur bola kering sebesar 1,6 °C.
2. Hasil Efektivitas bola basah ( $\epsilon_{wb}$ ) tertinggi terjadi pada laju aliran massa udara sekunder 0,0411472 kg/s dan laju aliran massa udara sekunder 0,027648 kg/s sedangkan efektivitas bola basah terendah terjadi pada laju aliran massa udara sekunder 0,05296 kg/s.
3. Dew point effectiveness (DPE) tertinggi dihasilkan pada laju aliran massa udara 0,0411472 kg/s, yakni sebesar 17,2%, sedangkan DPE terendah terjadi pada laju aliran massa udara 0,05296 kg/s yakni sebesar 14,4%. Hal ini disebabkan oleh selisih antara TBK udara baik (Tdb1a) maupun (Tdb2) dan dew point temperature (DPT) yang terjadi sehingga DPE yang dihasilkan pada laju aliran massa udara 0,0411472 kg/s menjadi lebih besar dibandingkan laju aliran massa udara yang lain.
4. Kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) tertinggi terjadi pada laju aliran massa udara sekunder 0,05296 kg/s, sedangkan kapasitas pendinginan terendah terjadi pada laju aliran massa udara sekunder 0,027648 kg/s. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin tinggi laju aliran massa udaranya, akan menghasilkan kapasitas pendinginan yang lebih besar.
5. Energi Ratio (ER) tertinggi terjadi pada laju aliran massa udara sekunder 0,05296 kg/s dengan energi ratio sebesar 0,17 sedangkan energi ratio

terendah. terjadi pada laju aliran massa udara sekunder 0,027648 kg/s dengan nilai energi ratio sebesar 0,11. Maka dengan besaran daya input yang sama, besarnya ER sangat tergantung pada kapasitas pendinginan yang dihasilkan.

## Daftar Pustaka

- [1] Amer, O., Boukhanouf, R., & Ibrahim, H. G. (2015). A review of evaporative cooling technologies. International journal development, 6(2), 111. of environmental science and
- [2] Pandelidis, D., Cichoń, 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.
- [3] Porumb, B., Bălan, M., & Porumb, R. (2016). Potential of indirect evaporative cooling to reduce the energy consumption in fresh air conditioning applications. Energy Procedia, 85, 433-441.
- [4] Kashyap, S., Sarkar, J., & Kumar, A. (2020). Comparative performance analysis of different novel regenerative evaporative cooling device topologies. Applied Thermal Engineering, 176, 115474.
- [5] Dizaji, H. S., Hu, E. J., & Chen, L. (2018). A comprehensive review of the Maisotsenko-cycle based air conditioning systems. Energy, 156, 725-749.
- [6] Lin, J., Thu, K., Karthik, S., Shahzad, M. W., Wang, R., & Chua, K. J. (2021). Understanding the transient behavior of the dew point evaporative cooler from the first and second law of thermodynamics. Energy Conversion and Management, 244, 114471.



Abdi Ekel Permana Ginting  
Menyelesaikan studi program, sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari Tahun 2020 sampai 2025.  
Bidang penelitian yang diminati yaitu Konversi Energi.