

Studi Eksperimental Performansi Sistem Pendinginan Maisotsenko Udara Counter Flow Dengan Variasi Laju Aliran Massa Udara Primer

Fikri Nur Rohman, Hendra Wijaksana dan I Gede Teddy Prananda Surya

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penggunaan energi tak terbarukan yang semakin lama semakin meningkat menyebabkan semakin meningkatnya emisi gas rumah kaca, sehingga hal ini dapat berdampak buruk pada lingkungan. Salah satu penggunaan energi tak terbarukan yang perlu dikurangi ialah sektor pendinginan. Energi yang ramah lingkungan pada sektor pendinginan ialah penggunaan pendinginan evaporative, salah satunya yaitu M-IEC yang termasuk dalam pendinginan evaporative tidak langsung serta tergolong dalam pengembangan jenis pendinginan evaporative, karena menggabungkan proses pendinginan evaporative langsung dan pendinginan evaporative tidak langsung. Dalam penelitian ini sistem pendinginan maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling dilakukan dengan pola udara counter flow dengan memvariasikan laju aliran massa udara primer 0,055296 kg/s, 0,041472 kg/s dan 0,027648 kg/s. Distribusi laju aliran massa udara primer akan sangat mempengaruhi temperature udara masuk dan temperature udara keluaran, ΔTDB tertinggi didapatkan pada laju aliran massa udara primer 0,027648 kg/s, efektivitas bola basah (ϵ_{wb}) dan efektivitas titik embun (ϵ_{dp}) tertinggi terjadi pada laju aliran massa udara primer 0,027648 kg/s disebabkan faktor semakin rendah laju aliran massa udara, diikuti dengan rendahnya temperature bola kering akan menghasilkan efektivitas yang semakin tinggi. Kapasitas pendinginan (Q_s) tertinggi terjadi pada laju aliran massa udara primer 0,05296 kg/s karena sistem pendinginan maisotsenko tergantung pada tingginya temperature masuk bola kering dan laju aliran massa udaranya sehingga akan menghasilkan kapasitas pendinginan yang lebih besar pulak. Energi efficiency ratio (EER) tertinggi terjadi pada laju aliran massa udara primer 0,05296 kg/s, besarnya EER sangat tergantung pada kapasitas pendinginan yang dihasilkan, dimana kapasitas pendinginan juga akan meningkat dengan meningkatnya laju aliran massa udara primer yang lebih besar.

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

Abstract

The increasing use of non-renewable energy causes increasing greenhouse gas emissions, so that this can have a negative impact on the environment. One of the uses of non-renewable energy that needs to be reduced is the cooling sector. Environmentally friendly energy in the cooling sector is the use of evaporative cooling, one of which is M-IEC which is included in indirect evaporative cooling and is included in the development of the evaporative cooling type, because it combines the direct evaporative cooling process and indirect evaporative cooling. In this study, the Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling system was carried out with a counter flow air pattern by varying the primary air mass flow rate of 0.055296 kg / s, 0.041472 kg / s and 0.027648 kg / s. The distribution of the primary air mass flow rate will greatly affect the inlet air temperature and outlet air temperature, the highest ΔTDB is obtained at a primary air mass flow rate of 0.027648 kg/s, the highest wet bulb effectiveness (ϵ_{wb}) and dew point effectiveness (ϵ_{dp}) occur at a primary air mass flow rate of 0.027648 kg/s due to the factor that the lower the air mass flow rate, followed by the low dry bulb temperature will produce higher effectiveness. The highest cooling capacity (Q_s) occurs at a primary air mass flow rate of 0.05296 kg/s because the maisotsenko cooling system depends on the high dry bulb inlet temperature and its air mass flow rate so that it will produce a greater cooling capacity. The highest energy efficiency ratio (EER) occurs at a primary air mass flow rate of 0.05296 kg/s, the amount of EER is highly dependent on the cooling capacity produced, where the cooling capacity will also increase with the increase in the primary air mass flow rate.

Keywords: Evaporative cooling, M-IEC, variation of air mass flow rate, air temperature distribution, temperature drop difference, wet bulb effectiveness, dew point effectiveness, cooling capacity, cooling rate and energy efficiency ratio.

1. Pendahuluan

Sudah sejak lama energi tak terbarukan semacam minyak, batu bara dan gas menjadi bagian penting dalam kehidupan manusia di alam ini, ditambah populasi manusia disetiap tahunnya yang semakin meningkat, juga sangat berdampak pada penggunaan

energi tersebut. Yang mana energi tak terbarukan ini sangat berpengaruh pada kenaikan emisi gas rumah kaca. Penggunaan sistem pendinginan udara yang semakin meningkat di setiap tahunnya, terutama pendinginan konvensional yang menggunakan teknologi kompresi, menyebabkan semakin naiknya

konsumsi energi. Dengan demikian berdampak pula kepada kenaikan emisi gas rumah kaca. Salah satu teknologi pendinginan yang ramah lingkungan ialah sistem pendinginan evaporative melalui siklus *maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling (M-IEC)* karena sistem ini menyediakan suplai suhu udara dibawah bola basah hingga mendekati suhu titik embun dengan efisiensi tertinggi tetapi juga mengkonsumsi listrik jauh lebih rendah dibandingkan sistem pendinginan lain [1]

Jenis baru sistem pendinginan *evaporative* tidak langsung yaitu siklus *maisotsenko*. Siklus *maisotsenko* ini juga sangat ramah lingkungan berbeda dengan sistem pendinginan udara konvensional yang mana sistem ini memanfaatkan gas alam atau sumber panas tingkat rendah seperti energi matahari dan limbah panas industri. Sistem pengoperasian siklus *maisotsenko* ini sama dengan sistem pengoperasian pada perangkat *indirect evaporative cooling*. Akan tetapi pada siklus *maisotsenko* terdapat beberapa saluran udara yang dilubangi. Lubang saluran ini bertujuan untuk mengalihkan udara setelah didinginkan disalurkan kering untuk masuk ke saluran basah. Dengan adanya saluran udara ini bertujuan untuk mendinginkan udara keluaran hingga mencapai suhu titik embun yang mana sesuai dengan udara masuk [2].

Pada penelitian kali ini siklus *maisotsenko* memiliki 5 jalur lubang pengalihan udara di saluran kering pada saluran kerja, 5 jalur lubang pengalihan udara ini bertujuan untuk mengalihkan aliran fluida atau udara setelah didinginkan di saluran kering untuk masuk ke saluran basah. Pada sistem pendinginan siklus *maisotsenko* ini pola aliran udara yang masuk ke saluran basah berada dalam kondisi *counter flow* (berlawanan arah) pada saluran kerja. Pola *counter flow* di sistem siklus *maisotsenko* bertujuan untuk membantu meningkatkan efisiensi pendinginan [3]. Serta dengan pola perbedaan laju aliran massa udara *primer* dan *sekunder* yang berbeda dapat memberikan efektivitas yang optimal terhadap kinerja dari siklus *M-IEC* itu sendiri. Cara yang tepat untuk meningkatkan efektivitas pada pendinginan siklus *maisotsenko* adalah dengan mengurangi rasio laju aliran masa udara produk terhadap laju aliran massa udara kerja [4].

Dalam penelitian sistem pendinginan *M-Cycle* ini menggunakan saluran bertipe balok dengan ukuran 12 cm x 8 cm x 8 cm pada saluran kering dan 12 cm x 4 cm x 8 cm pada saluran basah. Tipe ini bertujuan untuk udara yang masuk ke saluran basah mendapatkan kontak yang lebih lama pada dinding saluran kering produk karena faktor luas dari saluran kering yang lebih luas dari pada saluran basah sehingga kecepatan udara masuk di saluran basah cenderung lebih lambat, sehingga panas dari saluran

produk dapat diserap lebih banyak pada dinding saluran basah.

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah untuk menganalisa performansi sistem pendinginan *maisotsenko* udara *counter flow* dengan variasi laju aliran massa udara *primer*.

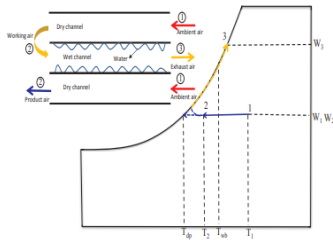
2. Dasar Teori

2.1 Pendinginan Evaporative

Pendinginan *evaporative* merupakan sistem pendingin tanpa menggunakan refrigerant, kontruksi dasarnya terdiri dari udara dan semburan air Pendinginan. Pada pendinginan *evaporative*, air sebagai media pendinginan dan menambah kelembaban pada aliran udara [5]. Oleh karena itu, pendinginan *evaporative* menyebabkan penurunan suhu udara pasokan yang sebanding dengan penurunan panas sensibel dari udara pasokan dan peningkatan kelembaban udara pasokan yang sebanding dengan perolehan panas laten oleh air [6]. Pendinginan *evaporative* umumnya membutuhkan seperempat tenaga listrik yang digunakan oleh kompresi uap mekanis untuk pengkondisian udara. Oleh karena itu, sistem ini akan membantu mengurangi penggunaan listrik dan juga mengurangi emisi gas rumah kaca.

2.2 Siklus Maisotsenko (M-Cycle)

Siklus *Maisotsenko (M-Cycle)* merupakan evolusi pendinginan *evaporative* tidak langsung, siklus ini pertama kali diperkenalkan oleh valerij Maisotsenko yang pertama kali di perkenalkan pada 1976. Siklus ini dianggap sangat inovatif karena kemampuannya untuk mencapai efisiensi tinggi dengan konsumsi energi yang rendah. Siklus *M-Cycle* juga merupakan pendinginan *evaporative* titik embun (*DPEC*) yang mana bagian dari udara yang didinginkan secara tidak langsung disirkulasikan di saluran basah *HMX* sehingga dapat meningkatkan efektivitas pertukaran panas secara keseluruhan[7]. Penukar panas dan massa (*HMX*) berbasis siklus *M-Cycle* juga dapat dengan mudah diintegrasikan dalam sistem pendingin konvensional. Dalam kondisi iklim sedang, udara sekitar tidak memerlukan kelembaban lagi sebelum dikirim ke ruangan yang dikondisikan. Sedangkan tenaga surya dapat dimanfaatkan untuk tujuan pemanasan sehingga menjadikan keseluruhan sistem ramah lingkungan. *HMX* berbasis siklus *M-Cycle* dalam kondisi seperti ini dapat memberikan keuntungan dibandingkan dengan metode konvensional karena dapat bekerja dengan baik bahkan pada kelembaban yang kurang efektif. Sehingga memungkinkan penerapan teknologi pengering yang lebih luas di area dimana sistem ini diperkirakan kurang berguna [8].



Gambar 1. Siklus Pendinginan Maisotsenko

2.3 Laju Aliran Massa

Laju aliran massa adalah massa dari suatu aliran yang mengalir tiap detiknya yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran, jenis aliran dan besar kecilnya penampang yang dialiri fluida. Cara untuk meningkatkan efisiensi pendinginan pada siklus maisotsenko adalah dengan mengurangi rasio aliran massa produk terhadap kerja. Namun, metode ini menyebabkan peningkatan konsumsi air yang signifikan

2.4 Temperature Dry Bulb (Bola Kering)

Suhu bola kering merupakan suhu termodinamika yang sebenarnya yang pengukurannya dapat dilakukan secara langsung. Oleh karena itu, suhu bola kering memberikan gambaran tentang sejauh mana suhu udara yang diukur tersebut [9]

2.5 Temperature Wet Bulb (Bola Basah)

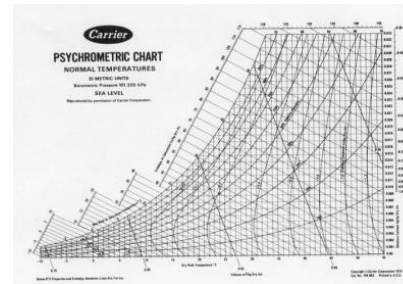
Temperature bola basah adalah rasio perbedaan antara suhu udara masuk dan keluar terhadap perbedaan asupan temperature udara dan temperature bola basahnya.

2.6 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. Adanya perubahan pada Suhu titik embun menunjukkan adanya perubahan panas laten atau adanya perubahan kandungan uap air di udara.

2.7 Diagram Psikometrik (Psychometric Chart)

Psikrometrik merupakan studi tentang campuran udara dan air serta merupakan dasar penting untuk memahami cara mengubah kondisi udara dari satu keadaan ke keadaan lain.



Gambar 2. Diagram psikometrik chart

3. Metode Penelitian

3.1 Konsep Penelitian

Penelitian akan dilakukan secara eksperimental pada alat pendinginan siklus maisotsenko udara counter flow dengan variasi laju aliran massa udara primer 0,055296 kg/s, 0,041472 kg/s dan 0,027648 kg/s terhadap laju aliran massa udara sekunder 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 primer
4. Pencatatan data
5. Penganalisan data, pembahasan, pembuatan grafik dan Kesimpulan

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

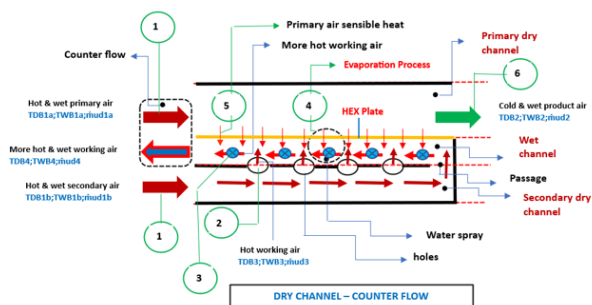
1. UNI-T UT333 Thermometer Hygrometer Humidity
2. HT-9815 Thermocouple 4 Channel HTI HT9815 Probe Termometer Termocouple
3. Digital wind anemometer - dengan range 0 – 30 m/s
4. Pompa pengabut
5. Nozzel
6. Dimer
7. Stopwatch
8. Plat alumunium dan plat tembaga
9. Riped dan paku riped
10. Gerinda dan Bor
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 primer: sekunder. Maka dengan variasi laju

aliran massa, udara primernya 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 sekunder, baik untuk kecepatan aliran udara sekunder 1, 2, dan 3 akan dijaga konstan sebesar 9m/s.

- 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
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 3. Prinsip kerja sistem maisotsenko aliran counter flow

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian

Pengujian eksperimental dilakukan pada sistim pendinginan Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling. Pengambilan data pada penelitian dilakukan melalui hasil dari eksperimental dan hasil dari perhitungan pada diagram psikometrik chart. Adapun hasil data distribusi temperature dapat dilihat masing-masing secara berurutan pada Tabel 1, Tabel 3 dan Tabel 5. Untuk data hasil perhitungan menggunakan diagram psikometrik chart dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 4 dan Tabel 6.

Tabel 1. Data hasil pengujian eksperimental pada laju aliran massa 0,055296 kg/s

Waktu (Menit)	Data Primer (Data Eksperimental) Temperature Dry Bulb (TDB) dan Outlet RH					
	Tdb1a (°C)	Tdb1b (°C)	Tdb2 (°C)	Rh 2 (%)	Tdb3 (°C)	Rh 3 (%)
5	33,8	31,4	31,4	71,4	29	87,5
10	33,9	32	31,8	70,7	29,2	89
15	34,1	31,8	31,9	71,2	29,8	89,2
20	34,1	31,9	31,9	71,8	29,8	89,3
25	33,8	31,8	31,8	70,6	29,6	89,4
30	34	31,7	31,9	72,6	29,7	89,5
\bar{x}	33,9	31,7	31,8	71,3	29,5	88,9

Tabel 2. Data hasil perhitungan dengan diagram psikometrik chart laju aliran massa udara primer 0.055296 kg/s

Waktu (Menit)	Data Sekunder (Perhitungan Pada Diagram Psikometrik Chart) Temperature Wet Bulb (TWB), Inlet Relative Humidity (RH), Temperature Dew Point (TDP), Absolute Ratio							
	Twb1a (°C)	Rh1a (%)	Tdew1a (°C)	Twb1b (°C)	Rh1b (%)	Twb2 (°C)	Twb3 (°C)	Absolute ratio g/kg (d.a)
5	26,9	62,4	25,6	26,4	71,4	26,4	26,6	20,8
10	27,1	62,8	25,8	26,7	69,9	26,6	27	21,1
15	27,3	62,9	26	26,8	71,6	26,8	27,6	21,4
20	27,4	63,5	26,2	26,9	71,8	26,9	27,6	21,6
25	27,1	63,1	25,8	26,6	70,6	26,6	27,4	21,1
30	27,5	64,5	26,4	27	73,4	27	27,6	21,8
\bar{x}	27,2	63,2	25,9	26,7	71,4	26,7	27,3	21,3

Tabel 3. Data hasil pengujian eksperimental pada laju aliran massa 0.041472 kg/s

Waktu (Menit)	Data Primer (Data Eksperimental) Temperature Dry Bulb (TDB) dan Outlet RH					
	Tdb1a (°C)	Tdb1b (°C)	Tdb2 (°C)	Rh 2 (%)	Tdb3 (°C)	Rh 3 (%)
5	32,9	30,8	30,8	76,1	29	88,8
10	33,3	31,2	31	76,2	29	90
15	33,4	31,7	31,5	73	29,3	90,1
20	33,3	31,5	31,4	74,3	29,3	90,3
25	33,8	32,2	32	73,6	29,4	90,4
30	33,7	31,9	31,8	71,4	29,2	90,1
\bar{x}	33,4	31,5	31,4	74,1	29,2	88,9

Tabel 4. Data hasil perhitungan dengan diagram psikometrik chart laju aliran massa udara primer 0.041472 kg/s

Waktu (Menit)	Data Sekunder (Perhitungan pada Diagram Psikometrik Chart) Temperature Wet Bulb (TWB), Inlet Relative Humidity (RH), Temperature Dew Point (TDP), Absolute Ratio							
	Twb1a (°C)	Rh1a (%)	Tdew1a (°C)	Twb1b (°C)	Rh1b (%)	Twb2 (°C)	Twb3 (°C)	Absolute ratio g/kg (d.a)
5	27,1	67,6	26,1	26,6	76,1	26,6	26,6	21,5
10	27,3	66,9	26,3	26,8	75,4	26,8	27	21,8
15	27,2	65,6	26,1	26,8	72,2	26,8	27,6	21,4
20	27,3	66,8	26,3	26,9	73,9	26,8	27,6	21,7
25	27,7	66,5	26,7	27,3	72,8	27,3	27,4	22,2
30	27,1	64,2	26	26,8	71	26,7	27,6	21,3
\bar{x}	27,3	66,2	26,2	26,8	73,5	26,8	27,3	21,6

Tabel 5. data hasil pengujian eksperimental pada laju aliran massa 0.027648 kg/s

Waktu (Menit)	Data Primer (Data Eksperimental) Temperature Dry Bulb (TDB) dan Outlet RH					
	Tdb 1a (°C)	Tdb 1b (°C)	Tdb 2(°C)	Rh 2 (%)	Tdb 3 (°C)	Rh 3 (%)
5	33	31,6	30,7	75,9	29,1	89
10	33,1	31,6	30,6	74,8	28,8	90,2
15	32,8	31,4	30,4	76	28,4	90,4
20	32,6	31,3	30,3	72,5	28,2	90,5
25	32,7	31,3	30,2	73	28	90,6
30	32,7	31,5	30,4	71,4	28,3	90,7
\bar{x}	32,8	31,4	30,4	73,9	28,4	90,2

Tabel 6. Data hasil perhitungan dengan diagram psikometrik chart laju aliran massa udara primer 0.027648 kg/s

Waktu (Menit)	Data Sekunder (Perhitungan pada Diagram Psikometrik Chart) Temperature Wet Bulb (TWB), Inlet Relative Humidity (RH), Temperature Dew Point (TDP), Absolute Ratio							
	Twb 1a (°C)	Rh 1a (%)	Tdew 1a (°C)	Twb 1b (°C)	Rh 1b (%)	Twb 2 (°C)	Twb 3 (°C)	Absolute ratio g/kg (d.a)
5	27	66,6	26	26,7	72,1	26,5	26,9	21,3
10	26,8	64,9	25,6	26,4	70,6	26,2	26,8	20,8
15	26,7	66,3	25,7	26,5	71,8	26,2	26,5	20,9
20	26,1	63,6	24,8	25,8	68,5	25,6	26,3	19,8
25	26,1	63,3	24,8	25,8	68,6	25,6	26,1	19,9
30	26	62,7	24,6	25,8	67,1	25,5	26,4	19,6
\bar{x}	26,4	64,5	25,2	26,2	69,8	25,9	26,5	20,3

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.

$$\Delta T_{db} = T_{dbin} - T_{dbout} = T_{db1a} - T_{db2} \quad (1)$$

Tabel 7 selisih penurunan Tdb

m.primer(kg/s)	Tdb1a (°C)	Tdb2 (°C)	ΔT_{db} (°C)
0,05296	33,9	31,8	2,1
0,0411472	33,4	31,4	2
0,027648	32,8	30,4	2,4

Pada Tabel 7. dapat dilihat bahwa selisih penurunan temperatur bola kering tertinggi didapat pada laju aliran massa udara primer 0,027648 kg/s. Serta semakin tinggi laju aliran massa udara primer akan menghasilkan temperatur bola kering yang semakin besar.

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:

$$\varepsilon_{wb} = \frac{T_{dbin} - T_{dbout}}{T_{dbin} - T_{wb1a}} \times 100\% \quad (2)$$

Tabel 8 efektivitas bola basah

m.primer(kg/s)	Tdb1a (°C)	Tdb2 (°C)	Twb1a (°C)	ε_{wb} (%)
0,05296	33,9	31,8	27,2	31,3
0,0411472	33,4	31,4	27,3	32,8
0,027648	32,8	30,4	26,4	37,5

Tabel 8. memperlihatkan hasil wet bulb effectiveness (WBE) yang mana hasil tertinggi dihasilkan pada laju aliran massa udara primer 0,027648 kg/s. Ini terjadi karena pada laju aliran massa udara rendah memberikan waktu interaksi pertukaran panas yang lama, sehingga lebih banyak panas sensibel udara yang dapat ditransfer secara konveksi dari udara ke plat penukar panas (heat exchanger plate). Hal ini menunjukkan bahwa besarnya WBE sangat tergantung pada kondisi udara primer inlet termasuk didalamnya TBK dan TBB udara primer inlet, serta juga tergantung pada laju aliran massa udaranya.

4.4 Efektivitas Titik Embun (Dew Point Effectiveness)

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

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dbin} - T_{dbout}}{T_{dbin} - T_{dpin}} \times 100\% \quad (3)$$

Tabel 9. efektivitas suhu titik embun

m.primer(kg/s)	Tdb1a (°C)	Tdb2 (°C)	TDew1a (°C)	ε_{dp} (%)
0,05296	33,9	31,8	25,9	26,25
0,0411472	33,4	31,4	26,2	27,7
0,027648	32,8	30,4	25,2	31,57

Berdasarkan pada Tabel 9. dapat dilihat bahwa dew point effectiveness (DPE) tertinggi dihasilkan pada laju aliran massa udara udara primer 0,027648 kg/s. Hal ini didapatkan karena dengan kapasitas panas udara yang lebih besar yang dialirkan, maka akan lebih banyak panas sensibel udara terserap oleh plat penukar panas secara konveksi sehingga menghasilkan selisih temperatur bola kering.

4.5 Kapasitas Pendinginan (Cooling Capacity)

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

$$Q_c = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (4)$$

Tabel 10. Kapasitas pendinginan

\dot{m} .udara (kg/s)	C_p (kJ/kg.K)	$\Delta TDB(^{\circ}C)$	Q_c (Kw)
0,05296	1,005	2,1	0,11
0,0411472	1,005	2	0,08
0,027648	1,005	2,4	0,07

Pada Tabel 10. dapat dilihat bahwa kapasitas pendinginan tertinggi dihasilkan pada laju aliran massa udara primer 0,05296 kg/s. Tingginya kapasitas pendinginan disebabkan karena semakin tinggi laju aliran massa udaranya, akan menghasilkan kapasitas pendinginan yang lebih besar.

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:

$$EER = \frac{Q_c}{P} \quad (5)$$

Tabel 11 Energi efficiency ratio

\dot{m} (kg/s)	Q_c (kW)	P (kW)	EER
0,05296	0,11	0,51	0,22
0,041472	0,08	0,51	0,15
0,027648	0,07	0,51	0,14

Berdasarkan pada Tabel 11. dapat diperlihatkan bahwa energy efficiency ratio (EER) tertinggi dihasilkan pada laju aliran massa udara yang tertinggi pula yakni 0,05296 kg/s. Dari hasil pengujian tersebut, dapat dikatakan bahwa pada besarnya daya input yang sama, besarnya EER sangat tergantung pada kapasitas pendinginan yang dihasilkan, dimana kapasitas pendinginan juga akan meningkat dengan semakin tingginya laju aliran massa udara panas yang lebih besar.

5. Kesimpulan

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

1. Hasil efektivitas pada Efektivitas bola basah (ϵ_{wb}) dan Efektivitas titik embun (ϵ_{dp}) tertinggi dan terendah terjadi pada laju aliran massa udara primer yang sama. (ϵ_{wb}) dan (ϵ_{dp}) tertinggi terjadi pada \dot{m} .primer 0,027648 kg/s sedangkan (ϵ_{wb}) dan (ϵ_{dp}) terendah terjadi pada \dot{m} .primer 0,05296. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa dengan laju aliran massa udara primer inlet yang rendah, diikuti juga dengan TBK udara primer inlet yang rendah, akan menghasilkan (ϵ_{wb}) dan (ϵ_{dp}) yang lebih tinggi.

2. Kapasitas pendinginan (Q_c) tertinggi ada pada \dot{m} .primer 0,05296 kg/s sedangkan kapasitas pendinginan terendah terjadi pada \dot{m} .primer 0,027648 kg/s. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin tinggi laju aliran massa udaranya, akan menghasilkan kapasitas pendinginan yang lebih besar.
3. Energi efficiency ratio (EER) tertinggi terjadi pada \dot{m} .primer 0,05296 kg/s dengan energi efficiency ratio sebesar 0,22 sedangkan energi efficiency ratio terendah terjadi pada \dot{m} .primer 0,027648 kg/s dengan nilai energi efficiency ratio sebesar 0,14. Maka dengan besaran daya input yang sama, besarnya EER sangat tergantung pada kapasitas pendinginan yang dihasilkan, dimana kapasitas pendinginan juga akan meningkat dengan meningkatnya laju aliran massa udara primer yang lebih besar.

Daftar Pustaka

- [1] *Sohani, A., Sayyaadi, H., & Mohammadhosseini, N. (2018). Comparative study of the conventional types of heat and mass exchangers to achieve the best design of dew point evaporative coolers at diverse climatic conditions. Energy Conversion and Management, 158, 327–345. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.042>*
- [2] *Phi Ma, N., & Minh Hiên, Đ. (n.d.). Nghiên cứu thực nghiệm về thiết bị làm lạnh không khí kiểu bay hơi nước gián tiếp ứng dụng chu trình maisotsenko (M-IEC) experimental research on the indirect evaporative cooler applying the maisotsenko cycle (M-IEC).*
- [3] *Pandelidis, D., Anisimov, S., & Worek, W. M. (2015). Performance study of counter-flow indirect evaporative air coolers. Energy and Buildings, 109, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.10.004>*
- [4] *Tertipis, D., & Rogdakis, E. (2015). Maisotsenko cycle: technology overview and energy-saving potential in cooling systems. Energy and Emission Control Technologies, 15. <https://doi.org/10.2147/eect.s62995>*
- [5] *Kalsia, M., Sharma, A., Kaushik, R., & Dondapati, R. S. (2023). Evaporative Cooling Technologies: Conceptual Review Study. Evergreen, 10(1), 421–429. <https://doi.org/10.5109/6781102>*
- [6] *Borasiya, M. D., Atodariya, V. H., Kher, P. N., Devankumar, M., & Patel, S. (2017). A Review on Potential of Indirect Evaporative*

- Cooling System. In IJSTE-International Journal of Science Technology & Engineering* | (Vol. 3). www.ijste.org
- [7] Muscio, A., Cossu, M., Morselli, N., Puglia, M., Pedrazzi, S., & Allesina, G. (2023). A modified ε -NTU analytical model for the investigation of counter-flow Maisotsenko-based cooling systems. *Applied Thermal Engineering*, 231. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120944>
- [8] Ali, M., Sheikh, N. A., Khalid, O., Manzoor, S., & Ali, H. M. (2018). Parametric investigation of a counter-flow heat and mass exchanger based on Maisotsenko cycle. *Thermal Science*, 22(6), 3099–3106. <https://doi.org/10.2298/TSCI160808296A>
- [9] Parningotan, J. W., Program, S., Teknik, S., & Belawan, A. M. (n.d.). ANALISA PENGARUH UDARA PADA AC SPLIT TERHADAP LAJU PENDINGIN PADA RUANGAN. *ATDS SAINTECH-Journal of Engineering*, 3(1), 2022.

	<p>Fikri Nur Rohman</p> <p>Menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2020 sampai 2024</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati yaitu Konversi Energi</p>	