

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

Rafael BP Silalahi, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Abstrak

Sebagai negara dengan daerah iklim tropis, Indonesia membutuhkan sistem pendingin udara untuk kehidupan sehari-hari. Penggunaan pendinginan udara konvensional memiliki dampak terhadap lingkungan dan penggunaan energi yang tinggi sehingga diperlukan pendinginan udara alternatif yaitu sistem pendingin udara *Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling (M-IEC)*. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan udara terhadap *Dew Point Effectiveness (DPE)* Pada sistem *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury Dry*. Pengujian dilakukan dengan tipe ventury dry channel 5 laluan dan aliran udara horizontal control flow dengan variasi kecepatan aliran udara yaitu 5m/s, 7 m/s, 9m/s. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan bahwa *Dew Point Effectiveness* tertinggi terjadi pada kecepatan aliran udara tertinggi yaitu 9m/s dengan nilai DPE sebesar 22,8%.

Kata Kunci: M-Cycle, DPE, Kecepatan aliran Udara, Evaporasi

Abstract

As a country with a tropical climate, Indonesia needs an air conditioning system for daily life. The use of conventional air conditioning has an impact on the environment and high energy use, so alternative air conditioning is needed, namely the *Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling (M-IEC)* air conditioning system. The main objective of this research is to determine the effect of variations in air speed on *Dew Point Effectiveness (DPE)* in the *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury Dry* system. The test was carried out with an 8-pass ventury dry channel type and horizontal flow control air flow with variations in air flow speed, namely 5m/s, 7 m/s, 9m/s. From the tests carried out, it was found that the highest *Dew Point Effectiveness* occurred at the highest air flow speed, namely 9m/s with a DPE value of 22.8%.

Keyword: M-Cycle, DPE, Air Flow Velocity, Evaporative

1. Pendahuluan

Di Indonesia saat ini, kehidupan sehari hari tidak terlepas dari pendingin udara untuk menunjang kenyamanan aktivitas dalam sebuah ruangan. Pendinginan udara dengan metode konvensional dengan sistem kompresi uap dan sistem pendingin absorpsi membutuhkan energi yang tinggi dan memiliki efek buruk pada lingkungan [1]. Untuk mendukung penghematan energi diperlukan teknologi alternatif yang lebih efisien dan lebih ramah terhadap lingkungan seperti menggunakan sistem M-IEC (*Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling*) [2]. Pendingin *Evaporative* yang umum digunakan adalah pendinginan langsung dan tidak langsung. Sistem pendinginan langsung menambah kelembapan ke udara ruangan dan memiliki efektivitas hingga 0,7-0,95 dalam menurunkan suhu. Pendingin *evaporative* tidak langsung dapat mendinginkan udara tanpa menambahkan uap air ke udara sehingga evaporasi tidak langsung lebih menarik dari evaporasi langsung [3].

Sistem *Maisotsenko* dapat mendinginkan udara tanpa menambah kelembapan. Sistem ini menggunakan siklus *evaporative* yang dapat meningkatkan efisiensi khususnya pada daerah lembab. Sistem *maisotsenko* memiliki kinerja lebih

tinggi dari sistem konvensional karena suhu udara yang masuk sangat dekat dengan suhu titik embun udara (*dew point*) yang masuk [1]. Sistem M-Cycle mengacu pada pengalihan udara dingin ke saluran basah yang digunakan sebagai udara kerja. Dengan menggunakan kondisi saluran masuk dan saluran keluar udara, M-Cycle biasanya diperkirakan dengan *dew point effectiveness* [4].

Pada sistem *Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling* dengan Counter Flow merujuk pada aliran dua fluida yang bergerak berlawanan di dalam saluran *dry channel* (ventury kering) dengan 5 laluan. Pola *counter flow* pada sistem *maisotsenko* akan meningkatkan efisiensi pendinginan. Hal ini terjadi karena perbedaan suhu aliran udara dan air yang lebih besar sehingga perpindahan panas dari udara ke air lebih efektif [5].

Dalam hal ini maka pengujian ini akan mengkaji permasalahan, yaitu bagaimana pengaruh variasi kecepatan udara terhadap *Dew Point Effectiveness (DPE)* Pada sistem *Maisotsenko Cycle Indirect Evaporative Cooling Ventury Dry* dengan menggunakan variasi kecepatan 5m/s, 7 m/s dan 9m/s. Untuk membatasi penelitian akan ditetapkan batasan yaitu penelitian berfokus pada pendinginan Sistem

Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling dan suhu lingkungan dianggap stabil.

2. Dasar Teori

2.1 Siklus Maisotsenko

Siklus Maisotsenko (M-cycle) merupakan teknik pendinginan udara yang dapat mengurangi suhu aliran udara sampai titik embun yang tidak mungkin terjadi secara langsung. Dalam proses siklus ini pada saluran basah, energi di udara tidak mengalami perubahan dimana udara kering yang hangat akan diubah menjadi udara lembab yang sejuk. Panas di udara digunakan untuk menguapkan air; tidak ada panas yang ditambahkan atau dihilangkan menjadikannya proses adiabatik. Air yang memasuki sistem akan diuapkan pada suhu bola basah dari udara yang masuk, dan ada tidak ada kelebihan air. Oleh karena itu, air memiliki efek yang dapat diabaikan pada proses adiabatik [4].

Siklus Maisotsenko (M-Cycle) menggabungkan pertukaran panas dan pendinginan *evaporatif* dalam proses pendinginan evaporatif tidak langsung yang efektif sehingga suhu aliran produk mendekati suhu titik embun udara masuk. Secara termodinamika, M-Cycle didasarkan pada prapendinginan udara sebelum melewati area penguapan air pembuangan panas, sehingga perbedaan nilai entalpi udara pada suhu titik embunnya dengan udara jenuh yang sama pada suhu yang lebih tinggi digunakan untuk memberikan kapasitas pendinginan untuk membuang panas, misalnya melalui elektronik [6].

2.2 Sistem Pendinginan *Evaporatif*

Pendinginan udara evaporatif merupakan alternatif untuk sistem kompresi uap konvensional yang sudah digunakan sebagai perangkat dengan konsumsi energi rendah untuk berbagai aplikasi pendinginan dan pengkondisian udara di sektor industri, pertanian, perumahan, untuk menyediakan suhu rendah (Pandelidis *et al.*, 2015). Dalam sistem pendingin evaporatif, udara yang dihasilkan tidak bisa lebih dingin dari suhu bola basah udara. Namun, siklus *Maisotsenko* yang digunakan dan dirancang secara inovatif untuk pendingin *evaporatif*, menghasilkan udara yang lebih dingin dari suhu bola basah. Sistem pendinginan evaporatif dapat menurunkan suhu udara proses secara teoritis mendekati suhu bola basahnya. Menurut pembentukannya, sistem pendingin *evaporatif* diklasifikasikan dalam dua kelompok: Sistem pendingin *evaporatif* langsung (DEC) dan sistem pendingin *evaporatif* tidak langsung (IEC) [8]

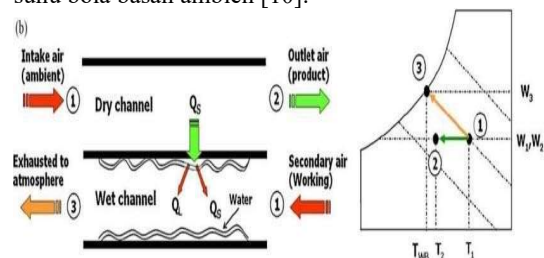
2.3 Indirect Evaporatif Cooling

Indirect Evaporative Cooling adalah alternatif yang baik untuk sistem kompresi uap konvensional untuk memenuhi tantangan ekonomi, lingkungan, dan

peraturan baru. Sistem pendingin pengering canggih melalui *Maisotsenko Cycle* (M-Cycle) yang dibahas di sini berpotensi menghentikan penggunaan refrigeran CFC, mengurangi biaya pengoperasian energi dan permintaan daya puncak, memenuhi standar laju ventilasi baru, dan meningkatkan kualitas udara dalam ruangan [7]

Proses *Indirect Evaporative Cooling* adalah metode pendinginan di manameskipun menggunakan air sebagai cairan pendingin, tidak ada uap air yang ditambahkan ke udara yang didinginkan produk. Aplikasi umum dari pendingin evaporatif tidak langsung adalah pemanasan, ventilasi dan pendinginan di industri bangunan [9]

Sistem *Indirect Evaporative Cooling* menggunakan dua aliran udara ambien dalam prosesnya, yaitu saluran kering untuk udara ambien masuk (1), dan saluran basah udara sekunder (2), dipisahkan oleh polimer film tipis dinding untuk mencegah penetrasi kelembaban di antara mereka. Sepanjang jalur aliran 1-2, udara masuk kehilangan panas sensibel ke sisi basah untuk penguapan air dan udara sekunder didinginkan dengan kontak langsung dengan air sebagai jalur 1-3. Suhu outlet dapat diturunkan secara teoritis mendekati suhu bola basah ambien [10].



Gambar 1. Pendinginan evaporatif tidak langsung [10]

2.4 Laju Aliran dan Udara

Laju aliran air adalah parameter yang sangat signifikan dalam analisis penukar pendinginan evaporatif. Dalam literatur, laju aliran massa air yang sangat rendah diambil untuk konfigurasi aliran berlawanan/paralel, sedangkan laju aliran massa air yang tinggi untuk konfigurasi aliran silang. Efektivitas titik embun perangkat dapat meningkat atau menurun dengan peningkatan laju aliran massa air tergantung pada suhu saluran masuk air [2].

Pada kecepatan saluran masuk udara yang lebih rendah, perbedaan kapasitas pendinginan untuk semua konfigurasi lebih kecil dibandingkan dengan yang sama pada kecepatan yang lebih tinggi. Suhu udara masuk 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. Dapat dicatat bahwa karena kecepatan air dapat diabaikan dibandingkan dengan kecepatan udara, pengaruh laju aliran udara terhadap kinerja lebih dominan [2]

2.5 Dew Point

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

Penurunan suhu bola kering di saluran basah membawa suhu bola basah efektif menjadi idealnya sama dengan suhu titik embun. Oleh karena itu untuk permukaan perpindahan panas yang ideal, udara produk dapat didinginkan dimana masuk ke suhu titik embun udara ambien. Selain itu, udara panas jenuh dibuang dari saluran basah yang sama dengan air yang diuapkan dan kemudian panasnya diperoleh kembali. Tergantung pada sifat aplikasi M-Cycle, produk dan saluran kerja dapat dipertukarkan untuk memanfaatkan udara panas jenuh [4]

Di dalam pori adsorben, molekul-molekul gas berada dalam jarak yang lebih dekat daripada saat berada di luar pori untuk kondisi tekanan dan temperatur yang sama, sehingga bahan bakar gas berubah menjadi *pseudo-liquid* atau hampir jenuh. Melalui cara ini, gas bumi dapat disimpan dengan densitas energi yang lebih tinggi.

M-cycle dapat mencapai suhu di bawah suhu bola basah yang dapat mencapai suhu titik embun. Kinerjanya kemudian dapat dinilai dengan menggunakan efektivitas titik embun (edp). Dibuat dalam persamaan sebagai berikut:

$$edp = \frac{T_{dB.in} - T_{out}}{T_{dB.in} - T_{dp.in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

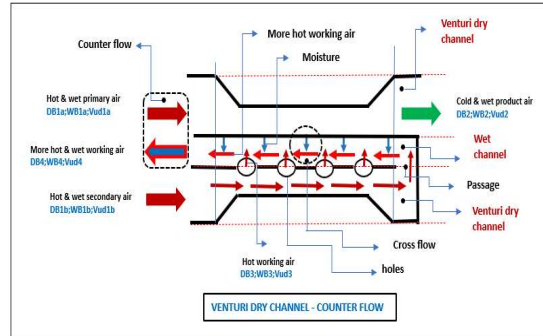
Keterangan:

- edp = dew point effectiveness (%)
- TdB.in = suhu bola kering udara primer inlet (°C)
- TdB.out = suhu bola kering udara primer outlet (°C)
- Tdp.in = suhu dew point udara primer inlet (°C)

3. Metode Penelitian

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rangkaian alat uji Sistem *Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling* atau M-Cycle 5 laluan udara dengan aliran udara horisontal counterflow antara primary air dari ventury dry channel dengan working air dari wet channel. Dalam melaksanakan penelitian ini besarnya temperature bola basah dan bola kering serta kelembapan udara pada udara primer dan udara sekunder pada sisi masuk *ventury dry channel* diatur sama dan konstan.

Adapun skematik sistem *Maisotsenko-IEC, Ventury dri channel* dan aliran *counter flow* seperti ditunjukkan dalam gambar berikut



Gambar 2 Skematik sistem *Maisotsenko-IEC*, 5 laluan, *Ventury Dry Channel*, aliran *Counter Flow*

Tahapan dalam pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pasang alat Uji sistem *Maisotsenko* pada sistem pengkondisian udara untuk pengaturan temperature kelembapan dan kecepatan aliran udara inlet
2. Pasang titik pengukuran temperature bola kering, dan kecepatan aliran udara pada sisi inlet udara primer (DB1), dan sisi outlet udara produk (DB2)
3. Hidupkan blower dan atur kecepatan udara dengan 5m/s
4. Hidupkan pompa dan atur laju aliran volume konstan
5. Lakukan pengujian sampai sistem stabil dan lanjutkan selama 120 menit dan lakukan pencatatan data
6. Tunggu selama 30 menit hingga temperature kembali ke temperature semula
7. Lakukan langkah 1-6 untuk kecepatan aliran udara 7m/s dan 9m/s

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian

Pengujian eksperimental pada sistem *Maisotsenko-Indirect Evaporative Cooling*, tipe *ventury dry channel* dengan 5 laluan dan aliran udara *horizontal counter flow* dilakukan masing-masing pada variasi kecepatan aliran udara 5 m/s, 7 m/s dan 9 m/s. Pengukuran temperatur pada pengujian ini dilakukan pada temperatur udara inlet sisi saluran udara primer (TdB1), serta temperatur udara outlet pada sisi saluran udara primer/udara produk (TdB2). Adapun distribusi data temperatur pada variasi kecepatan aliran udara inlet 5 m/s, 7 m/s dan 9 m/s, yang diperoleh ditunjukkan masing-masing secara berurutan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 1. Data distribusi temperatur udara pada $V_{Udara} = 5 \text{ m/s}$

Waktu (menit)	Temperatur bola kering (dB), dan titik embun (DPT) °C		
	TdB 1 °C	TdB 2 °C	DPT °C
5	33,8	30,75	20,8
10	34,6	31,75	21,8
15	34,5	31,7	21,5
20	35	31,95	21,8
25	35,1	32,05	21,7
30	35	32,05	21,5
Rata-rata	34,67	31,7	21,52

Tabel 2. Data distribusi temperatur udara pada $V_{Udara} = 7 \text{ m/s}$

Waktu (menit)	Temperatur bola kering (dB), dan titik embun (DPT) °C		
	TdB 1 °C	TdB 2 °C	DPT °C
5	34,7	32,15	21,1
10	35,6	32,65	21,4
15	36	32,5	21,0
20	35,5	32,7	21,3
25	35,8	32,95	21,3
30	36,1	32,7	20,9
Rata-rata	35,61	32,6	21,16

Tabel 3. Data distribusi temperatur udara pada $V_{Udara} = 9 \text{ m/s}$

Waktu (menit)	Temperatur bola kering (dB), dan titik embun (DPT) °C		
	TdB 1 °C	TdB 2 °C	DPT °C
5	35,4	32,25	21,0
10	35,8	32,3	21,1
15	36,3	32,8	21,1
20	35,9	32,5	20,9
25	36	32,4	20,7
30	35,4	32,25	20,5
Rata-rata	35,80	32,41	20,88

4.4 Dew Point Effectiveness (DPE)

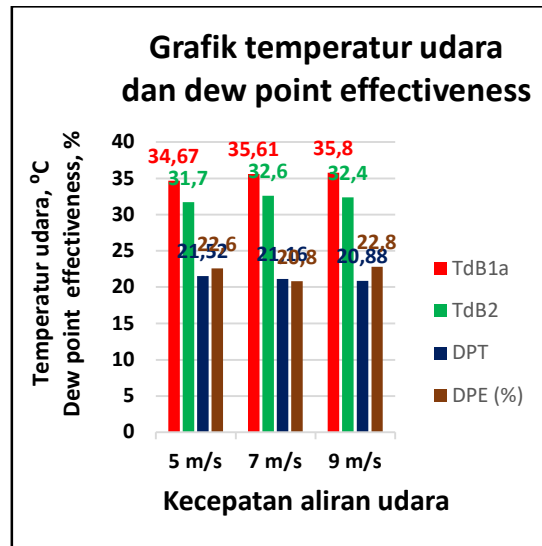
Contoh perhitungan nilai DPE diambil dari variabel dengan kecepatan aliran udara 5m/s dimana dari tabel 4.1 DPT pada kecepatan tersebut = 21,52°C.

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

$$\varepsilon_{dp} = \frac{T_{dB1} - T_{dB2}}{T_{dB1} - DPT} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{dp} = \frac{34.67 - 31.7}{34.67 - 21.52} \times 100\% = 22.6\%$$

Hasil perhitungan DPE untuk ketiga kecepatan aliran udara dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 3. Grafik temperature udara dan dew point effectiveness

Dari gambar dapat diketahui bahwa *dew point effectiveness* (DPE) paling tinggi dihasilkan pada kecepatan aliran udara tertinggi 9 m/s, yaitu sebesar 22.8%, sedangkan DPE terendah terjadi pada kecepatan aliran udara 7 m/s yakni sebesar 20.8%. Hasil DPE tinggi pada kecepatan aliran udara 9 m/s terjadi karena udara dengan kecepatan aliran 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, maka akan lebih banyak panas sensibel udara terserap oleh plat penukar panas secara konveksi, sehingga menghasilkan selisih temperatur bola kering (TBK), ΔT_{dB} yang lebih besar dibandingkan kecepatan aliran udara yang lebih rendah, dengan demikian secara proporsional akan

dihasilkan DPE yang lebih tinggi. Pada kecepatan aliran udara 7 m/s, justru dihasilkan DPE yang paling rendah, padahal TBK udara primer inletnya lebih tinggi yakni sebesar 35.61°C dibandingkan TBK udara primer inlet pada kecepatan aliran udara 5 m/s, yang hanya sebesar 34.67°C. Hal tersebut diatas disebabkan oleh selisih antara TBK udara primer inlet (TdB1a) dan *dew point temperature* (DPT) yang terjadi pada kecepatan aliran udara 5 m/s yakni sebesar 34.67-21.52=13.2°C lebih kecil dari yang dimiliki oleh kecepatan aliran udara 7 m/s yakni sebesar 35.61-21.16=14.5°C, sehingga DPE yang dihasilkan pada kecepatan aliran udara 5 m/s menjadi lebih besar dibandingkan DPE kecepatan aliran udara 7 m/s. Dengan demikian untuk sementara dapat dikatakan bahwa DPE sistem pendingin *Maisetsenko* ini, sangat tergantung pada kondisi udara luar yang akan didinginkan, termasuk didalamnya temperatur bola kering, temperatur bola basah dan juga *dew point temperature* udara tersebut, serta juga kecepatan aliran udaranya

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi kecepatan aliran udara dengan suhu udara inlet yang lebih besar akan menghasilkan selisih penurunan bola kering semakin besar. *Dew point Effectiveness* tertinggi terjadi pada kecepatan udara paling tinggi yaitu 9m/s dengan nilai 22,8% dan DPE terendah terjadi pada kecepatan aliran udara 7m/s dengan nilai sebesar 20.8%

Daftar Pustaka

- [1]. Song, J., & Sobhani, B., 2020b. **Energy and exergy performance of an integrated desiccant cooling system with photovoltaic/thermal using phase change material and maisotsenko cooler.** Journal of Energy Storage, 32. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101698>
- [2]. Kashyap, S., Sarkar, J., & Kumar, A., 2020b. **Comparative performance analysis of different novel regenerative evaporative cooling device topologies.** Applied Thermal Engineering, 176. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115474>
- [3]. Anisimov, S., Pandelidis, D., Jedlikowski, A., & Polushkin, V., 2014a. **Performance investigation of a M (Maisotsenko)-cycle cross-flow heat exchanger used for indirect evaporative cooling.** Energy, 76, 593-606. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.055>
- [4]. Mahmood, M. H., Sultan, M., Miyazaki, T., Koyama, S., & Maisotsenko, V. S., 2016a. **Overview of the Maisotsenko cycle – A way towards dew point evaporative cooling.** In **Renewable and Sustainable Energy Reviews** (Vol. 66, pp. 537–555). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.022>
- [5]. Anisimov, S., Pandelidis, D., Jedlikowski, A., & Polushkin, V., 2014b. **Performance investigation of a M (Maisotsenko)-cycle cross-flow heat exchanger used for indirect evaporative cooling.** Energy, 76, 593–606. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.055>
- [6]. Maisotsenko, V., & Reyzin, I. (n.d.). **Proceedings of IPACK05 International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition IPACK2005-73283 THE MAISOTSENKO CYCLE FOR ELECTRONICS COOLING**
- [7]. Pandelidis, D., Anisimov, S., & Worek, W. M., 2015. **Performance study of the Maisotsenko Cycle heat exchangers in different air-conditioning applications.** **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 81, 207–221. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.10.033>
- [8]. Rogdakis, E. D., Koronaki, I. P., & Tertipis, D. N., 2014. **Experimental and computational evaluation of a Maisotsenko evaporative cooler at Greek climate.** **Energy and Buildings**, 70, 497–506. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.013>
- [9]. Dizaji, H. S., Hu, E., Chen, L., Pourhedayat, S., & Wae-hayee, M., 2021. **Proposing the concept of mini Maisotsenko cycle cooler for electronic cooling purposes; experimental study.** **Case Studies in Thermal Engineering**, 27. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101325>
- [10]. Riangvilaikul, B., & Kumar, S., 2010. **An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system.** **Energy and Buildings**, 42(5), 637–644. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.034>

