

Analisis Pengaruh Penggunaan Heatsink Terhadap Pendinginan Sistem Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling Dengan Variasi Aliran Udara Menggunakan Komputasi Dinamika Fluida

Anditya Putra Wysnawan, Hendra Wijaksana, dan Ainul Ghurri
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling (M-IEC) semakin diakui sebagai solusi ramah lingkungan untuk mengatasi tantangan efisiensi dalam sistem pendinginan. Siklus ini menggunakan prinsip pendinginan tidak langsung yang mengurangi penggunaan air dan energi secara signifikan, menjadikannya pilihan menarik untuk mengurangi dampak lingkungan dari proses pendinginan. Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi pada M-IEC menggunakan *software* ANSYS Fluent. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan kecepatan udara 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s serta menggunakan *heatsink* dan tanpa *heatsink* pada sisi dinding *product channel*. Semakin besar luas permukaan perpindahan panas atau menggunakan *heatsink*, suhu yang keluar pada *product channel* akan mengalami penurunan yang lebih signifikan. Tanpa menggunakan *heatsink*, penurunan suhu tidak begitu besar, yang berpengaruh pada *Dry Bulb Temperature Drop*, *Wet Bulb Effectiveness*, *Dew Point Effectiveness*, *Cooling Capacity*, dan *Energy Efficiency Ratio (EER)* yang menunjukkan performa lebih baik menggunakan *heatsink* dibandingkan tanpa *heatsink*.

Kata kunci: Ansys fluent, Efisiensi sistem pendinginan, Heatsink, Kecepatan udara, Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling.

Abstract

Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling (M-IEC) is increasingly recognized as an environmentally friendly solution to address efficiency challenges in cooling systems. This cycle employs an indirect cooling principle that significantly reduces water and energy consumption, making it an attractive option for mitigating environmental impacts of cooling processes. Testing involved conducting simulations on M-IEC using ANSYS Fluent software. Simulations varied airflow speeds at 5 m/s, 7 m/s, and 9 m/s, and compared heatsink and non-heatsink configurations on the product channel wall. Increasing the heat transfer surface area or using a heatsink resulted in a more significant decrease in outlet temperature product channel. Conversely, without a heatsink, the temperature drop was less pronounced, affecting *Dry Bulb Temperature Drop*, *Wet Bulb Effectiveness*, *Dew Point Effectiveness*, *Cooling Capacity*, and *Energy Efficiency Ratio (EER)*, demonstrating better performance with heatsink usage compared to without.

Keywords: Ansys Fluent, Cooling system efficiency, Heatsink, Airflow velocity, Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling.

1. Pendahuluan

Meningkatnya permintaan akan efisiensi pendinginan di berbagai aplikasi membawa tantangan yang mendorong terciptanya inovasi dalam teknologi pendinginan. Dalam konteks ini, perhatian utama tertuju pada pengembangan sistem yang tidak hanya lebih efisien tetapi juga ramah lingkungan, sebagai upaya untuk memenuhi tuntutan meningkat akan kebutuhan pendinginan. Menurut *International Energy Agency (IEA)*, diperkirakan permintaan energi untuk sistem pendingin ruangan secara global akan mengalami peningkatan tiga kali lipat, setara dengan kebutuhan kapasitas listrik yang diperlukan untuk menyuplai energi ke Amerika Serikat, Eropa, dan Jepang. Di wilayah ASEAN, pertumbuhan mesin pendingin diperkirakan mencapai 35% pada tahun 2050 [1].

Pentingnya *Maisotsenko Cycle-Indirect Evaporative Cooling (M-IEC)* sebagai solusi yang ramah lingkungan semakin terasa dalam usaha menghadapi hambatan efisiensi dalam sistem pendinginan. Siklus ini mengadopsi prinsip

pendinginan tidak langsung dengan mengurangi sebesar mungkin penggunaan air dan energi, membuatnya menjadi opsi yang menarik untuk mengurangi dampak lingkungan yang disebabkan oleh proses pendinginan. Menerapkan teknologi M-Cycle dapat menurunkan penggunaan energi dan mengurangi emisi gas rumah kaca, membuatnya menjadi alternatif yang menarik untuk sistem pendinginan yang berkesinambungan [2].

Menggunakan *software* ANSYS Fluent dalam menganalisis respons termal sistem merupakan strategi penting untuk memahami secara mendalam respons termal sistem. Penerapan *software* ini memberikan keunggulan dalam melakukan simulasi dan analisis termal pada M-IEC, memberikan dukungan esensial untuk pengembangan teknologi pendinginan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Simulasi menjadi suatu instrumen yang sangat penting dalam meningkatkan kinerja pertukaran panas, memilih material yang paling cocok, dan memprediksi ketahanan serta umur. Keandalan ini diberikan melalui kapabilitas aplikasi simulasi penukar panas Ansys [3]

Peneliti sebelumnya telah melaksanakan studi mendalam mengenai M-IEC. Mereka telah mengumpulkan data, menganalisis literatur, dan menjalankan eksperimen untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang fenomena yang dipelajari. Selain itu, mereka juga telah mengusulkan atau mengembangkan beberapa model atau teori untuk menjelaskan hasil yang mereka peroleh dalam penelitian mereka sebelumnya. Sebaiknya plat penukar panas pada sisi wet channel menggunakan plat dengan ketebalan yang tipis dan bahan yang mempunyai konduktivitas termal yang baik sehingga perpindahan panas pada plat penukar panas yang didapat lebih maksimal [4]. Usulan penelitian ini bertujuan untuk melakukan validasi dan pengembangan lebih lanjut terhadap sistem M-IEC yang telah diteliti dalam skripsi sebelumnya. Ini melibatkan penelitian kembali konsep, perancangan, atau implementasi sistem, dengan fokus pada memverifikasi hasil sebelumnya dan meningkatkan kinerja atau efisiensi sistem. Melalui penelitian ini, diharapkan akan terjadi kontribusi tambahan terhadap pemahaman kita tentang sistem M-IEC dan aplikasinya dalam konteks yang lebih luas.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka rumusan masalah dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan udara terhadap *output* pendinginan pada sistem M-IEC menggunakan ANSYS Fluent?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan *heatsink* terhadap *output* pendinginan pada sistem M-IEC menggunakan ANSYS Fluent?

Dari rumusan masalah yang teridentifikasi, perlu dilakukan pembatasan penelitian pada penyelesaian masalah yang lebih sederhana tanpa mengurangi keakuratan analisis penelitian. Maka dalam penelitian ini keterbatasan penelitian akan mencakup beberapa hal, antara lain:

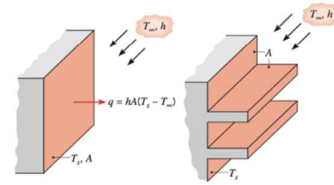
1. Simulasi dilakukan untuk mengoptimalkan dan merancang sebuah alat perpindahan panas M-IEC
2. Suhu lingkungan atau ruangan dianggap stabil
3. *Fouling factor* diabaikan
4. Laju aliran yang masuk tetap atau konstan
5. Proses analisis *heat exchanger* hanya mencakup penambahan permukaan pada *heatsink* dan kecepatan udara

2. Dasar Teori

2.1 Heatsink

Heatsink adalah bagian yang diterapkan pada modul thermoelectric dan berperan dalam mengarahkan atau menyerap panas dari permukaan modul thermoelectric ke dalam bahan padat. Fungsi *heatsink* adalah untuk secara efektif menyerap atau melepaskan energi panas dari lingkungannya menggunakan berbagai permukaan seperti fin. Penggunaan *heatsink* pendingin mendukung berbagai aplikasi yang memerlukan pembuangan panas yang efisien. [5]. Hal ini bisa dicapai melalui peningkatan luas permukaan pendinginan menggunakan sirip-sirip

pada plat, serta melalui peningkatan koefisien perpindahan panas konveksi seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Sirip Meningkatkan Perpindahan Kalor dari Dinding Bidang

2.2 Perpindahan panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi dari benda atau bahan yang lebih panas ke benda atau bahan yang lebih dingin hingga tercapai kesetimbangan termal. Perpindahan panas adalah bidang ilmu yang memahami perpindahan energi yang disebabkan oleh perbedaan suhu antar benda atau bahan [6].

2.3 Heat Exchanger

Secara umum, *heat exchanger* merupakan elemen yang terintegrasi dalam sistem industri atau terutama dalam sistem tenaga uap, digunakan untuk mengalihkan atau transfer panas dari satu fluida ke fluida lainnya dengan maksud untuk mencapai peningkatan nilai ekonomis. Fungsi *heat exchanger* tidak hanya terbatas pada aplikasi pemanasan, tetapi juga diterapkan dalam sistem pendinginan seperti pada perangkat pendingin dan AC [7].

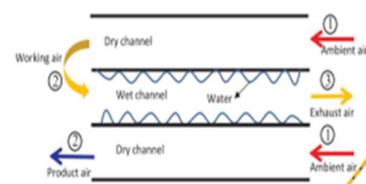
2.4 Evaporative Cooling

Pendinginan evaporatif merujuk pada suatu sistem pengkondisian udara yang memanfaatkan air untuk mereduksi suhu dan meningkatkan kelembaban pada aliran udara. Dengan demikian, *wet bulb temperature* menjadi lebih rendah setelah mengalami proses penguapan [8].

2.5 Maisotsenko Cycle

Maisotsenko Cycle (M-Cycle) menggunakan desain yang telah ditingkatkan dari sistem pendinginan *indirect evaporative cooling* seperti pada gambar 2. Dengan mempertahankan tingkat kelembaban udara produk secara konsisten, siklus ini berhasil mengurangi suhu udara hingga menyamai *ambient wet-bulb temperature* dan mendekati *dew-point temperature* (T_{dp}), melalui suatu prosedur transfer panas dan massa yang cerdas [9].

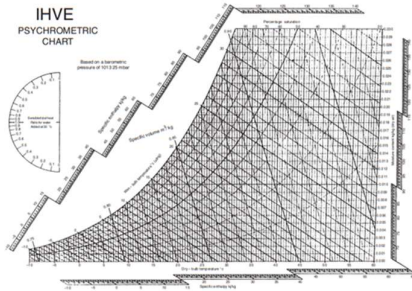
Gambar 2. Maisotsenko Cycle



2.6 Psychrometric Chart

Psychrometric chart adalah diagram yang menampilkan kombinasi antara uap air dan udara. Dalam *psychrometric chart* (gambar 3), terdapat beberapa parameter yang berasal dari campuran tersebut, seperti entalpi, rasio kelembaban,

kelembaban relatif, suhu udara kering (*dry bulb*), dan suhu udara basah (*wet bulb*) [10].



Gambar 3. Psychrometric chart

2.7 CFD

Computational Fluid Dynamics (CFD) mengacu pada metode analisis sistem yang mengkaji aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena terkait. Konsep ini mirip dengan simulasi reaksi kimia yang menggunakan teknik numerik berdasarkan perhitungan komputer. [11].

2.8 Persamaan Navier-Stokes

Persamaan Navier-Stokes terdiri dari sekumpulan persamaan diferensial non-linier yang mencirikan dinamika fluida. Biasanya, model turbulensi menyesuaikan persamaan (1) Navier-Stokes dengan memasukkan rata-rata dan fluktuasi yang signifikan, yang mengarah pada perumusan persamaan Reynolds Averaged Navier Stokes. Persamaan RANS diartikulasikan dalam kerangka persamaan CFD. [12].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = \dots \quad (1)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i u_j})$$

3. Metode Penelitian

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mencapai desain optimal pada sistem *Maisotsenko cycle-Indirect evaporative cooling*. Oleh karena itu, dilakukan metode simulasi dengan variasi variabel bebas yang berbeda, yang dipilih melalui proses perbandingan hingga mencapai nilai temperatur yang optimal. Simulasi dilakukan melalui perancangan alat dengan menggunakan simulasi analisis pada perangkat lunak Ansys Fluent.

3.2 Domain Komputasi

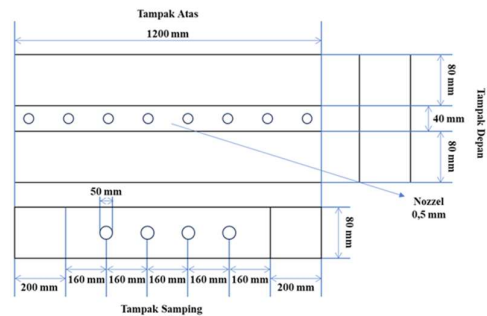
Simulasi ini terdapat beberapa domain komputasi yang dipengaruhi pada hasil simulasi, yaitu:

1. Geometri (gambar 4)
2. Selection type (gambar 5)
3. Meshing
4. Materials
5. Setup boundary condition
6. Solving

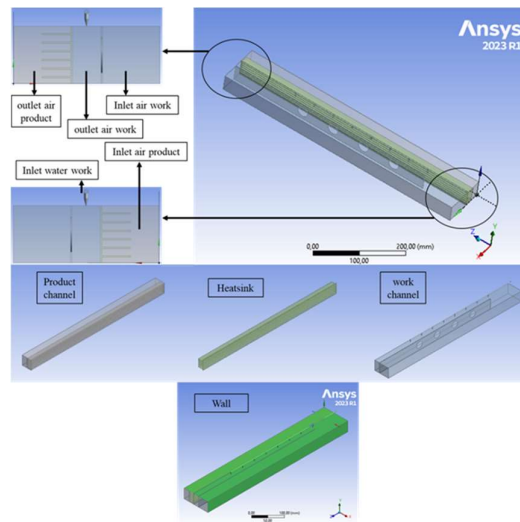
7. Processing
8. Post processing
9. Pengolahan data simulasi

3.3 Variabel Penelitian

1. Variabel Tetap
 - Temperature inlet primary 35 °C
 - Temperature inlet secondary 35 °C
 - Temperature inlet water 24 °C (v = 7 m/s)
 - Material heatsink (tembaga)
 - Arah aliran fluida (*paralel flow*)
2. Variabel Bebas
 - Dengan heatsink dan tanpa heatsink
 - Kecepatan Udara (5 m/s, 7 m/s, 9 m/s)
3. Variabel Terikat
 - Dry bulb temperature drop
 - Wet bulb effectiveness
 - Dew point effectiveness
 - Cooling capacity
 - Energy Efficiency Ratio (EER)



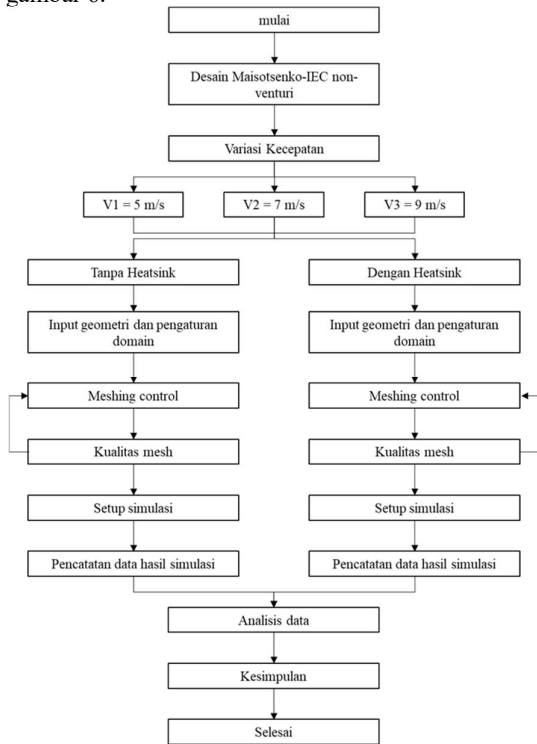
Gambar 4. Dimensi M-IEC



Gambar 5. Selection type pada Maisotsenko-IEC non-venturi

3.3 Kerangka Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengolahan Data Simulasi

1. Meshing

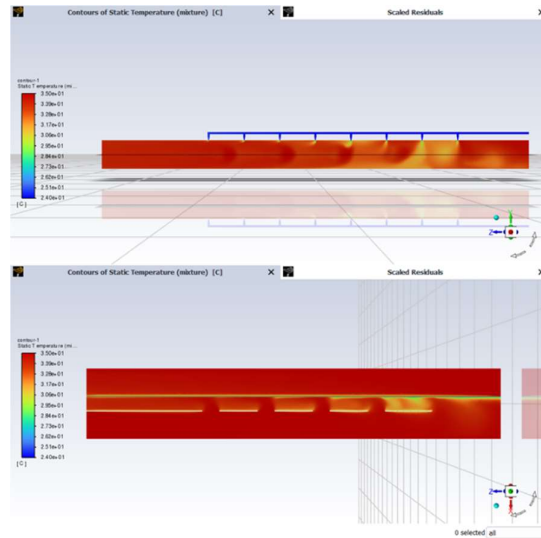
Metode *automes* dalam perangkat lunak Ansys Fluent digunakan untuk menghasilkan *mesh*, memungkinkan proses pembentukan *mesh* lebih cepat. Dalam simulasi ini, konfigurasi *mesh* adalah polyhedra. Jumlah total sel mencapai 1.173.653 untuk model yang dilengkapi heatsink, sedangkan model tanpa heatsink berjumlah 410.456 sel.

2. Residual

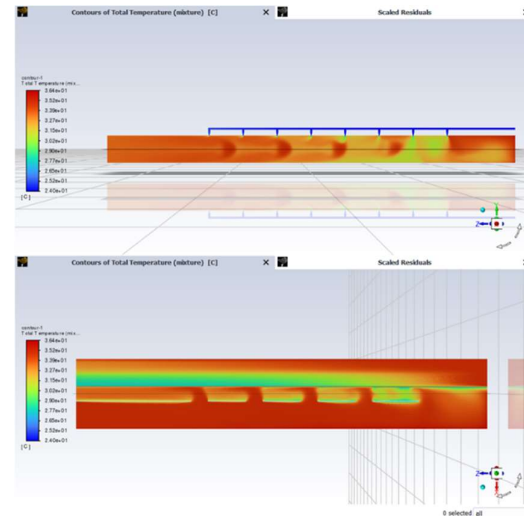
Skema yang digunakan untuk simulasi merupakan coupled. Hasil residual dari setiap variasi yang disimulasikan hingga *konvergen*. Pada hasil *residual* ketika sudah mencapai *konvergen* menunjukkan nilai residual yang rendah, artinya Solusi yang diperoleh sudah cukup mendekati kondisi sebenarnya. Batasan yang dipakai pada proses simulasi bernilai 10⁻³ untuk mencapai *konvergen*.

3. Contours

Contours temperature dapat memperlihatkan proses pesebaran temperatur yang menunjukkan bagaimana temperatur berubah di berbagai titik pada proses simulasi. Pada gambar 7 penggunaan *heatsink* pada M-IEC memperlihatkan terjadinya perpindahan panas yang lebih besar daripada tidak memakai *heatsink* yang mengakibatkan temperatur dapat berkurang lebih besar.



(a) Non Heatsink



(b) Heatsink

Gambar 7. Contours Temperature

4. Hasil data simulasi

Tabel 1. Hasil temperatur dan entalpi non heatsink

V (m/s)	Tdb 1a (°C)	Entalpi 1a (kj/kg)	Tdb 1b (°C)	Entalpi 1b (kj/kg)
5	35	103.8	35	103.8
7	35	103.8	35	103.8
9	35	103.8	35	103.8
V (m/s)	Tdb 2 (°C)	Entalpi 2 (kj/kg)	Tdb 4 (°C)	Entalpi 4 (kj/kg)
5	33.6	96.9	34.3	89.8
7	33.9	98.1	34.4	91.7
9	34	98.9	34.5	93

Tabel 2. Hasil temperatur dan entalpi *heatsink*

V (m/s)	Tdb 1a (°C)	Entalpi 1a (kJ/kg)	Tdb 1b (°C)	Entalpi 1b (kJ/kg)
5	35	100.6	35	100.6
7	35	100.6	35	100.6
9	35	100.6	35	100.6
V (m/s)	Tdb 2 (°C)	Entalpi 2 (kJ/kg)	Tdb 4 (°C)	Entalpi 4 (kJ/kg)
5	30.9	81.9	33.1	60.2
7	31.3	84.6	33.5	63.4
9	31.6	86.3	33.7	66.3

Setelah proses simulasi sudah selesai didapatkan data yang dimana menunjukkan temperatur *outlet* (Tdb 2 dan Tdb 4) dan entalpi *outlet* (entalpi 2 dan entalpi 4). Dari hasil simulasi menggambarkan nilai entalpi *outlet* memiliki nilai lebih rendah dari pada *inlet* dan temperatur *outlet* lebih rendah dari pada temperatur *inlet*.

5. Distribusi Temperatur Udara dan Kelembaban Relatif

Tabel 3. Distribusi udara dan kelembaban relatif non *heatsink*

V (m/s)	Tdb 1a (°C)	Twb 1a (°C)	Rh 1a (%)	Tdb 1b (°C)	
5	35	30.7	73.9	35	
7	35	30.7	73.9	35	
9	35	30.7	73.9	35	
V (m/s)	Twb 1b (°C)	Rh 1b (%)	Tdb 2 (°C)	Twb 2 (°C)	
5	30.7	73.9	33.6	29.4	
7	30.7	73.9	33.9	29.6	
9	30.7	73.9	34	29.8	
V (m/s)	Rh 2 (%)	Tdb 4 (°C)	Twb 4 (°C)	Rh 4 (%)	T. dew
5	73.8	34.3	28	65.2	29.6
7	73.6	34.4	28.4	64.1	29.6
9	73.9	34.5	28.6	65	29.6

Tabel 4. Distribusi udara dan kelembaban relatif *heatsink*

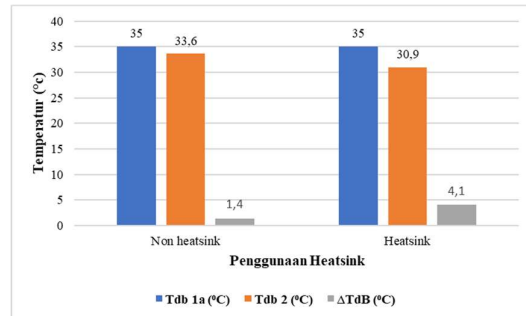
V (m/s)	Tdb 1a (°C)	Twb 1a (°C)	Rh 1a (%)	Tdb 1b (°C)
5	35	30.1	70.6	35
7	35	30.1	70.6	35
9	35	30.1	70.6	35
V (m/s)	Twb 1b (°C)	Rh 1b (%)	Tdb 2 (°C)	Twb 2 (°C)
5	30.1	70.6	30.9	26.3
7	30.1	70.6	31.3	26.8
9	30.1	70.6	31.6	27.2

V (m/s)	Rh 2 (%)	Tdb 4 (°C)	Twb 4 (°C)	Rh 4 (%)	T. dew
5	69.9	33.1	20.8	33.1	28.8
7	71.3	33.5	21.7	35.6	28.8
9	71.8	33.7	22.5	38.4	28.8

Berdasarkan ke-6 data simulasi temperatur diatas, selanjutnya akan ditentukan dry bulb temperature drop, efektivitas bola basah (*wet bulb effectiveness*), efektivitas titik embun (*dew point effectiveness*), *cooling capacity*, *energy efficiency ratio* (EER). Dengan catatan perbandingan akan menggunakan data dari kecepatan 5 m/s baik dengan *heatsink* maupun tanpa *heatsink* dikarenakan merupakan hasil terbaik dari masing – masing variasi.

4.2 Selisih Penurunan Temperatur Bola Kering (*Temperature Drop*)

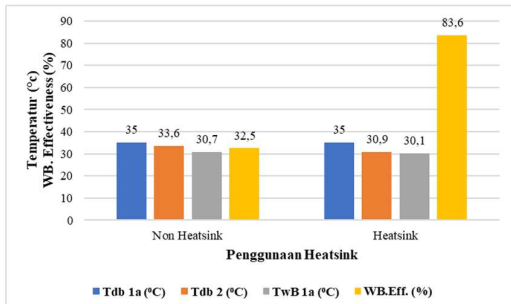
Berdasarkan Gambar 8. dapat dilihat bahwa selisih penurunan temperatur bola kering tertinggi didapat pada saat penggunaan *heatsink*. Juga dapat dilihat, penggunaan *heatsink* akan menghasilkan selisih penurunan temperatur bola kering semakin besar. Hal ini disebabkan oleh luas penampang yang lebih besar dari pada tidak memakai *heatsink*. Sehingga lebih besar pula panas sensibel udara yang dapat dipindahkan secara konveksi ke plat penukar panas.



Gambar 8. Grafik selisih penurunan Tdb

4.3 *Wet Bulb Effectiveness*

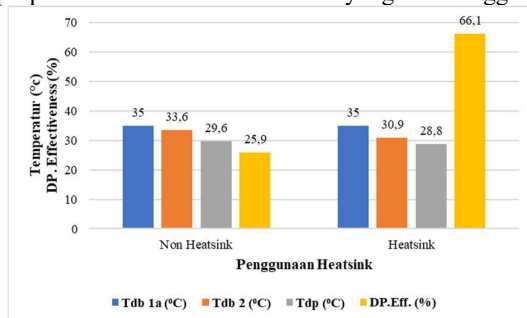
Gambar 9 memperlihatkan *wet bulb effectiveness* (WBE) tertinggi dihasilkan pada penggunaan *heatsink* yakni sebesar 83.6%, sedangkan WBE terendah terjadi pada *non heatsink* yakni sebesar 32.5%. Hasil WBE tinggi pada penggunaan *heatsink* diperoleh karena memiliki ΔTdb yang paling besar (4.1 °C), yang diikuti tempertur bola kering *outlet* (Tdb 2) sudah cukup mendekati dengan temperatur bola basah *inlet* (Twb 1a). Sedangkan pada *non heatsink* hanya masih cukup jauh untuk mendekati temeperatur bola basah (Twb 1a). Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa dengan penggunaan *heatsink* udara *inlet* akan membawa kapasitas panas yang lebih besar, sehingga lebih banyak panas sensibel udara yang dapat ditransfer secara konveksi ke plat penukar panas.



Gambar 9. Grafik temperatur udara dan *wet bulb effectiveness*

4.4 Dew Point Effectiveness

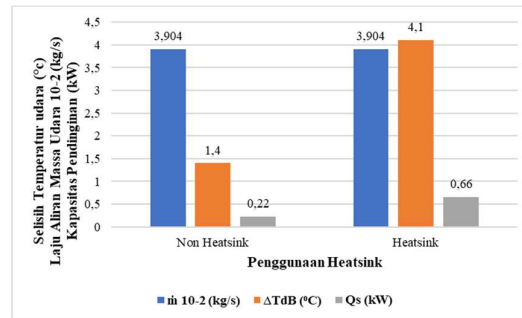
Berdasarkan pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa *dew point effectiveness* (DPE) tertinggi dihasilkan pada penggunaan *heatsink*, yakni sebesar 66%, sedangkan DPE terendah terjadi pada *non heatsink* yakni sebesar 25,9%. Hasil DPE tinggi pada penggunaan *heatsink* didapat karena luas penampang perpindahan panas lebih besar. Dengan lebih besarnya luas penampang perpindahan panas mengakibatkan lebih banyak panas sensibel udara terserap oleh plat penukar panas secara konveksi, sehingga menghasilkan selisih temperatur bola kering (ΔT_{DB}) yang lebih besar. Dengan demikian secara proporsional akan dihasilkan DPE yang lebih tinggi.



Gambar 10. Grafik temperatur udara dan *dew point effectiveness*

4.5 Kapasitas Pendinginan

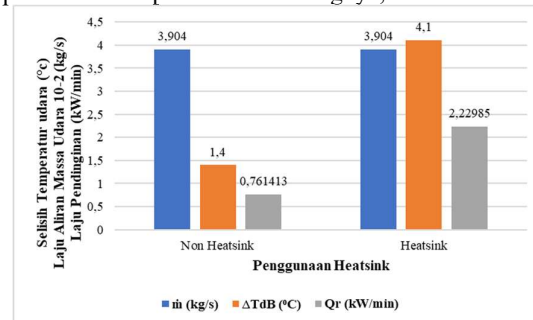
Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa kapasitas pendinginan tertinggi dihasilkan pada penggunaan *heatsink* yakni sebesar 0,66 kW dan kapasitas pendingin terendah terjadi pada *non heatsink* yakni hanya sebesar 0,22 kW. Berdasarkan sistem pendinginan, luas penampang perpindahan panas yang lebih besar dapat meningkatkan proses perpindahan panas dari product channel ke wet channel. Dengan demikian dapat kiranya dikatakan bahwa kapasitas pendinginan sistim tergantung pada proses perpindahan panas yang terjadi pada sistem, serta selisih temperatur bola kering ΔT_{DB} yang dicapai.



Gambar 11. Grafik kapasitas pendinginan

4.6 Laju Pendinginan

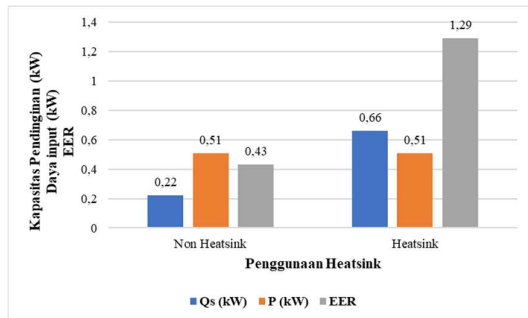
Pada Gambar 12 Laju pendinginan tertinggi dicapai pada penggunaan *heatsink* sebesar 0,0222985 kW/min, sedangkan laju pendinginan terendah akan terjadi pada *non heatsink* dengan laju pendinginan hanya sebesar 0,00761413 kW/min. Hal ini disebabkan karena yang memiliki luas penampang perpindahan panas yang lebih besar akan membawa jumlah panas yang lebih besar, serta lebih cepat mengalami pendinginan dan juga lebih banyak jumlah panas yang mampu didinginkan, untuk satu rentang waktu tertentu. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa laju pendinginan sangat tergantung pada luas penampang perpindahan panas serta selisih penurunan temperatur bola keringnya, ΔT_{DB} .



Gambar 12. Grafik laju pendinginan

4.7 Energy Efficiency Ratio (EER)

Berdasarkan pada Gambar 13 dapat diperlihatkan bahwa *energy efficiency ratio* (EER) tertinggi sebesar 1,29 dihasilkan pada penggunaan *heatsink*, sedangkan EER terendah sebesar 0,43 dicapai pada *non heatsink*. Hal ini terjadi karena pada daya *input* yang sama yakni sebesar 0,51 kW. Pada penggunaan *heatsink* dapat menghasilkan kapasitas pendinginan yang tertinggi yakni sebesar 0,66 kW. Dari hasil penelitian 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 meningkatnya perpindahan panas pada plat.



Gambar 13. Grafik Energy Efficiency Ratio

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dari hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi dari kecepatan aliran udara berpengaruh pada hasil temperatur dan kelembaban yang berbeda. Pada variasi aliran udara yang memiliki selisih temperatur tertinggi jatuh pada kecepatan 5 m/s dengan selisih suhu 1.4 °C (tanpa *heatsink*) dan 4.1 °C (dengan *heatsink*). Sedangkan untuk selisih temperatur terendah terjadi pada variasi kecepatan 9 m/s dengan selisih suhu 1 °C (tanpa *heatsink*) dan 3.4 °C (dengan *heatsink*).

Dengan memperbesar luas penampang perpindahan panas atau menggunakan *heatsink* sangat berpengaruh dalam penurunan temperatur dari pada tanpa menggunakan *heatsink*, yang mengakibatkan pada *Dry Bulb Temperature Drop*, *Wet Bulb Effectiveness*, *Dew Point Effectiveness*, *Cooling Capacity*, dan *Energy Efficiency Ratio* (EER) memiliki hasil lebih baik menggunakan *heatsink* daripada tanpa *heatsink*.

5.2 Saran

1. Sebaiknya jumlah *fin* pada *heatsink* dibuat lebih banyak agar semakin besar luas penampang pada perpindahan panas.
2. Gunakan lebih banyak variasi kecepatan aliran udara agar mendapat hasil yang optimal.
3. Melakukan validasi dengan cara mempraktekan secara eksperimen agar mengetahui lebih lanjut performa pendinginan.

Daftar Pustaka

- [1] Arvirianty, A. (2018, July 16). Wah, Pemakaian Ac Bikin Konsumsi Listrik Dunia Meroket. Cnbc Indonesia.
- [2] Taler, J., Jagieła, B., & Jaremkiewicz, M. (2022). Overview Of The M-Cycle Technology For Air Conditioning And Cooling Applications. *Energies*, 15(5).
- [3] Ansys Fluent. (2023). Modeling & Simulation Of Heat Exchangers. Ansys.
- [4] Pramagandi, I. K. A. (2023). Studi Eksperimental Unjuk Kerja Pendinginan

Sistem Maisotsenko - Indirect Evaporative Cooling Non-Venturi Dry Channel 5 Lajuan Dengan Aliran Udara Horizontal Counter Flow.

- [5] Anggraini, R., F.Sudarma, A., Yuliarty, P., & V.Enriko, F. (2020). Perancangan Heatsink Untuk Lampu Led Menggunakan Simulasi Cfd. *Jurnal Teknik Industri Itn Malang*.
- [6] Lusiani, Rismaningsih, F., Sudirman, Noor, I., Indrawati, F., Budi Putranti, A., Fitriani, A., Gela M Saka, B., Indrayana, I. P. T., Purwanti, P., Setiawan, J., Malik, Y., & Fenty Anggraeni, E. (2022). PERPINDAHAN KALOR (S. Haryanti, Ed.). CV. MEDIA SAINS INDONESIA.
- [7] Sejati, A. W. (2018). Hambatan Perpindahan Panas Akibat Kerak Caco3 Pada Pipa Heat Exchanger Tipe Shell And Tube Dan Pengendaliannya Dengan Aditif Asam Format Dan Asam Oksalat.
- [8] Sunarwo. (2011). Pembuatan Dan Pengujian Evaporative Cooling. *Jurnal Teknik Energi* , 7 No.1, 31–34.
- [9] Tertipis, D., & Rogdakis, E. (2015). Maisotsenko Cycle: Technology Overview And Energy-Saving Potential In Cooling Systems. *Energy And Emission Control Technologies*, 15.
- [10] Tegar Oktianto, A., & Prabowo. (2014). Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Blade Tipe Single Row Distributor Pada Swirling Fluidized Bed Coal Dryer Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara. *Jurnal Teknik Pomits*, 3.
- [11] Akmal, S., Za, N., & Ishak. (2019). Analisa Profil Aliran Fluida Cair Dan Pressure Drop Pada Pipa L Menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (Cfd). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*.
- [12] Sadlie, A. K. (2018). Validasi Model Turbulensi Pada Simulasi Numerik Menggunakan Software Fluent Dengan Sayap Onera M6 Validation Of Turbulence Model In Numerical Simulation Using Fluent Software With Wings Onera M6.

 A portrait of a young man with short black hair, wearing a white dress shirt and a dark tie, set against a solid red background.	<p>Anditya Putra Wysnawan menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana, pada tahun 2024</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi</p>	