

PENGARUH LAJU ALIRAN AIR MENYILANG DIEVAPORATOR TERHADAP KOEFISIEN PERPINDAHAN PANAS MENYELURUH PADA MESIN PENDINGIN *MINI WATER CHILLER*

Edo Putra Pratama¹⁾, Suryadimal²⁾

¹⁾²⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta

Email:

[1\)edoputrapratama321@gmail.com](mailto:1)edoputrapratama321@gmail.com) [2\)Suryadimal@bunghatta.ac.id](mailto:2)Suryadimal@bunghatta.ac.id)

ABSTRAK

Pemanasan global menjadi isu penting yang dihadapi dunia. *Mini water chiller* merupakan salah satu solusi dalam mengatasi pemanasan global, dengan bekerja sebagai sistem pendingin. Namun, sistem ini memerlukan daya listrik yang cukup besar dalam implementasinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju aliran menyilang dievaporasi terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh pada mesin pendingin *mini water chiller*. Penelitian dilakukan secara eksperimental dan hasil penelitian menunjukkan bahwa laju aliran pendingin dari evaporator berpengaruh terhadap kerja kompresor, efek refrigerasi mengalami penurunan seiring peningkatan laju aliran, serta nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh meningkat seiring bertambahnya laju penyerapan kalor

Kata Kunci: *Coefficient of Performance, Laju Aliran Massa, Mini Water Chiller, Perpindahan Kalor*

PENDAHULUAN

Sistem pendingin udara saat ini menjadi salah satu solusi dalam mengatasi pemanasan global. Namun, di lain sisi sistem pendingin udara memerlukan daya listrik yang cukup besar khususnya pada bangunan komersial dan perumahan yang mencapai 50% dari total energi bangunan^[1].

Salah satu sistem pendingin udara adalah tipe *water mini chiller*. Alat ini terdiri atas siklus primer dan siklus sekunder. Siklus primer berperan utama sebagai fluida kerja dengan freon yang berfungsi sebagai pendingin air evaporator. Sementara itu, fluida yang bekerja pada siklus sekunder adalah air^[2].

Komponen *Mini Water Chiller*

Mesin pendingin *mini water chiller* memiliki komponen utama dan komponen pendukung diantaranya^[3]:

1. Komponen Utama

- Kompresor**
Memiliki fungsi utama dalam mensirkulasikan *refrigerant* dalam sistem *chiller*
- Kondensor**
Berfungsi membuang kalor pada sistem refrigerasi

- Katup Ekspansi**
Berfungsi mengurangi tekanan *refrigerant*
- Evaporator**
Sebagai tempat penguapan *refrigerant* setelah melewati katup ekspansi sebelum terjadi pengembunan
- Pompa Sirkulasi**
Mensirkulasikan fluida
- Cooling Tower**
Menaikkan temperatur air yang sebelumnya melewati kondensor
- Ducting**
Berfungsi menyalurkan udara dingin ke berbagai ruangan
- Chilled Water Tank Supply**
Berfungsi menampung air yang telah didinginkan *chiller*
- Chilled Water Tank Return**
Berfungsi menampung air yang telah digunakan sebelumnya

2. Komponen Pendukung

- Accumulator**
Berfungsi menyimpan saluran *refrigerant* dan mencegah cairan *refrigerant* kembali ke kompresor

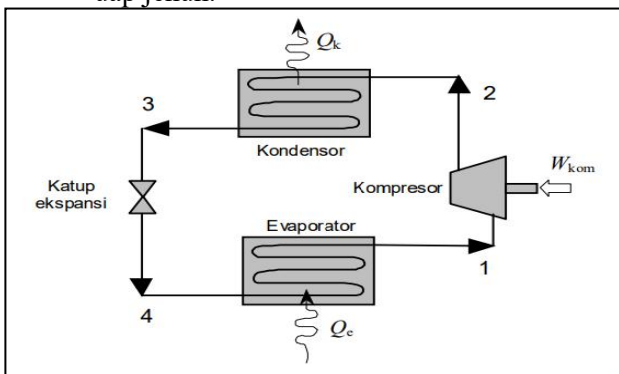
b. Trainer/ Filter

Berfungsi menyerap kelembapan dalam sistem

Daur Kompresi Uap Standar

Terdiri dari tahapan^[4]:

- 1-2 : Kompresi adiabatik dan reversible, dari uap jenuh menuju tekanan kondensor.
- 2-3 : Pelepasan kalor reversible, pada tekanan konstan menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuperheating*) dan pengembunan refrigerant.
- 3-4 : Ekspansi tidak reversible, pada entalpi konstan, dari cairan jenuh menuju tekanan evaporator.
- 4-1 : Penambahan kalor reversible, pada tekanan tetap yang menyebabkan penguapan menuju uap jenuh.

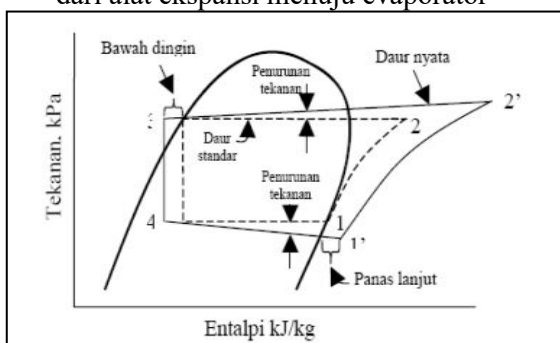


Gambar 1. Daer Pendingin Kompresi Uap Standar

Daur Kompresi Uap Teoritis

Terdiri dari tahapan^[5]:

- 1-2 : Kompresi. Yaitu di mana refrigerant mengalami tekanan hingga temperatur jenuhnya lebih tinggi pada saat memasuki kondensor
- 2-3 : Kondensasi. Terjadinya penurunan temperatur dan berubahnya fasa pada tekanan dan temperatur yang konstan dari fasa gas ke cair
- 3-4 : Ekspansi. Tahapan saat refrigerant fasa cair mengalir menuju pipa kapiler untuk diturunkan tekanan dan temperaturnya
- 4-1 : Evaporasi. Pengaliran refrigerant yang keluar dari alat ekspansi menuju evaporator



Gambar 2. Daer Refrigerasi

Parameter Terkait

Besarnya koefisien perpindahan panas menyeluruh pada mesin pendingin *mini water chiller* ini dipengaruhi oleh beberapa aspek. Soenadi mengemukakan bahwa jumlah air yang bersirkulasi berperan dalam menurunkan temperatur permukaan alat penukar kalor. Sementara itu, banyaknya kalor yang ditransfer dalam sistem pendingin dalam satuan waktu dapat diperbesar dengan memvariasikan beban pendingin dan menurunkan temperatur^[6].

Penelitian oleh Wang juga menyimpulkan bahwa penurunan laju perpindahan kalor secara kondensasi menurun seiring bertambahnya massa udara^[7]. Volume fluida juga berpengaruh signifikan terhadap capaian suhu optimal *mini water chiller* melalui variasi laju fluida sekunder yang dapat meningkatkan efisiensi energi^[8]. Penggunaan fluida air mampu memperbesar laju perpindahan kalor kondensor sehingga meningkatkan performa mesin pendingin^[9].

Penelitian ini bertujuan untuk melihat bagaimana pengaruh dari debit aliran menyilang terhadap besarnya koefisien perpindahan panas secara menyeluruh pada mesin pendingin *mini water chiller*. Penelitian ini juga bertujuan menganalisis pengaruh kapasitas aliran fluida setiap waktu dengan aliran menyilang pada alat penukar kalor terhadap koefisien perpan serta kinerja mesin pendingin *mini water chiller* dan menganalisis koefisien perpindahan panas menyeluruh.

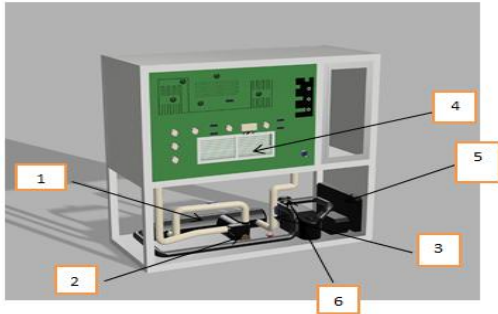
METODE

Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Prestasi Mesin Universitas Bung Hatta pada bulan Juli 2023. Tahapan pada penelitian terdiri dari tahapan persiapan alat dan bahan, pengaturan alat pada mesin pendingin *mini water chiller*, pengambilan data, pengolahan dan analisis data.

Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Termometer Digital Dual Input
2. Termometer Digital Mini
3. Amperemeter
4. Voltmeter
5. *Pressure Gauge*
6. Anemometer

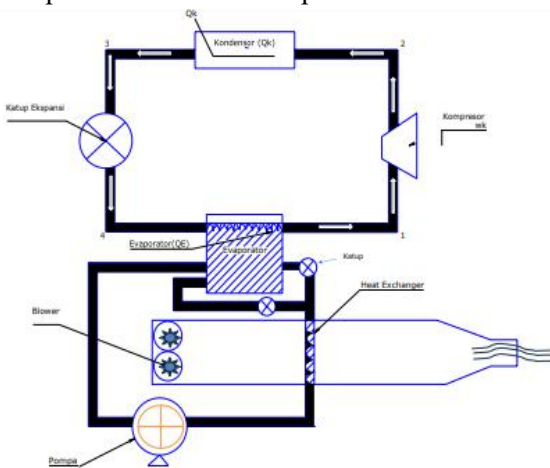
Instalasi Pengujian



Gambar 3. Alat Pengkondisian Udara *Mini Chiller*

Keterangan:

- | | |
|---------------|----------------|
| 1. Evaporator | 4. AC outdoor |
| 2. Water Pump | 5. Kondensator |
| 3. Katup | 6. Kompresor |



Gambar 4. Skema Alat Uji

Metode Pengambilan Data

Pengambilan data penelitian dilakukan melalui tahapan:

- Persiapan alat pengujian
- Pemeriksaan alat uji
 - Pengecekan FCU agar tidak ada kebocoran
 - Pengecekan coil pendingin agar sirkulasi air lancar
- Memastikan putaran fan berjalan lancar
- Pengambilan data pada alat uji *mini water chiller* menggunakan pompa sentrifugal

Perhitungan Unit Sistem Primer (Sistem Kompresi Uap)

1. Menghitung Kerja Kompresor

$$W_k = h_2 - h_1 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- W_k = kerja kompresor (W)
- h_2 = entalpi masuk kompresor (kJ/kgC)
- h_1 = entalpi kelura kompresor (kJ/kgC)

2. Daya Kompresor

$$P = V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- P = daya kompresor (W)
- V = tegangan kompresor (Volt)
- I = arus masuk kompresor (Amp)
- $\cos \phi$ = faktor daya

3. Efek Refrigerasi

$$ER = h_1 - h_4 \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- ER = efek refrigerasi (kJ/kg)
- h_1 = entalpi masuk evaporator (kJ/kgC)
- h_4 = entalpi masuk kompresor (kJ/kgC)

4. Coefficient of Performance (COP)

$$COP = \frac{\text{Efek Refrigerasi}}{\text{Kerja Kompresor}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots(4)$$

Perhitungan Sistem Sekunder FCU

1. Long Mean Temperature Difference (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta t_1 / \Delta T_2)} \dots\dots\dots(5)$$

$$\Delta T_1 = t_{hin} - t_{cout}$$

$$\Delta T_2 = t_{hout} - t_{cin}$$

2. Perpindahan Energi

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

- Q = perpindahan kalor (W)
- m = laju aliran massa (kg/s)
- C_p = panas jenis fluida (kJ/kgC)
- ΔT = selisih temperature ($^{\circ}C$)

3. Perpindahan Kalor Aktual Air

$$Q_{air} = m_a \cdot C_{p_a} \cdot \Delta T_a \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

- Q_{air} = perpindahan kalor air (W)
- m_a = laju aliran massa air (kg/s)
- C_{p_a} = panas jenis air (kJ/kgC)
- ΔT_a = selisih temperature air pendingin ($^{\circ}C$)

4. Perpindahan Kalor Aktual Udara

$$Q_u = m_u \cdot C_{p_u} \cdot \Delta T_u \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

- Q_u = perpindahan kalor udara (W)
- m_u = laju aliran massa udara (kg/s)
- C_{p_u} = panas jenis udara (kJ/kgC)
- ΔT_u = selisih temperature udara ($^{\circ}C$)

5. Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

$$q = U.A.\Delta T \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

- U = koefisien perpindahan kalor menyeluruh
- A = luas penampang pipa
- ΔT = selisih temperatur masuk fluida

6. Perpindahan Kalor dalam FCU

$$U = \frac{m.Cp.\Delta T_w}{A.\Delta T_{LMTD}} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

- m = laju aliran massa udara
- Cp = panas jenis udara
- ΔT_u = selisih temperatur udara di TCU
- ΔT_{LMTD} = beda temperatur logaritmik
- A = luas penampang perpindahan kalor

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Entalpi dan Entropi

Tabel 1. Entalpi dan Entropi dari Tabel dan Grafik Refrigeran R.32

No	Laju Air (kg/s)	Tegangan Listrik (V)	Kuat arus (A)	Kec Udara (Km/Jam)
1	0,178	220	5,8	4
2	0,196	220	5,9	4
3	0,218	220	6	4
4	0,226	220	6	4
5	0,247	220	6	4
6	0,178	220	5,8	2
7	0,196	220	5,9	2
8	0,218	220	6	2
9	0,226	220	6	2
10	0,247	220	6	2

No	Entalpi (Kj/Kg)			Entropi (Joule/Kelvin)		
	h ₁	h ₂	h ₃ =h ₄	s ₁	s ₂	s ₀
1	528,55	590,11	266,11	1,76	1,74	1,15
2	528,42	590,21	266,37	1,75	1,73	1,16
3	528,32	590,32	266,76	1,75	1,75	1,14
4	528,22	590,22	266,76	1,75	1,77	1,16
5	528,12	590,18	266,60	1,75	1,73	1,15
6	528,43	590,15	258,58	1,75	1,77	1,16
7	528,32	590,25	265,32	1,75	1,72	1,17
8	528,27	590,32	266,28	1,75	1,74	1,16
9	528,16	590,15	266,50	1,75	1,73	1,16
10	528,06	590,35	266,21	1,75	1,76	1,21

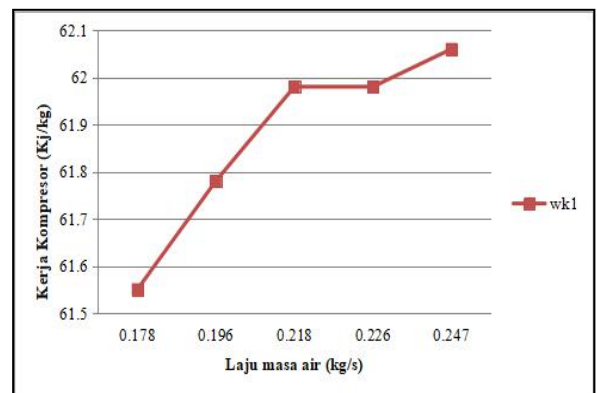
Tabulasi Data Perhitungan

Tabel 2. Data Perhitungan

No	Laju aliran masa water (kg/s)	Panas Jenis	Selisih Temp Water °C	Selisih Temp Udarar (C)	Temp Loga Ritmik (C)
	mw	Cp air	ΔT_a	ΔT_u	ΔT_{LMTD}
1	0,178	4,18	12,60	11,9	12,25
2	0,196	4,18	12,50	11,5	11,99
3	0,218	4,18	12,30	12,2	12,25
4	0,226	4,18	12,54	12	12,27
5	0,247	4,18	12,60	12	12,30
6	0,178	4,18	12,10	11,6	11,85
7	0,196	4,18	11,80	11,3	11,55
8	0,218	4,18	12,00	10,8	11,39
9	0,226	4,18	11,80	10,2	10,98
10	0,247	4,18	11,80	10,1	10,93

No	Koef Perpin Kalor (W/m ² C)	Kec Udara (m/s)	Kalor Sensible air	Kalor Sensible udara
	U	Vu	Qair	Qud
1	0,12	40	7,068	0,44
2	0,13	40	7,292	0,47
3	0,14	40	9,021	0,52
4	0,14	40	9,126	0,55
5	0,14	40	10,118	0,62
6	0,13	60	6,994	0,42
7	0,14	60	7,537	0,46
8	0,15	60	8,110	0,53
9	0,15	60	7,746	0,53
10	0,60	60	8,817	0,03

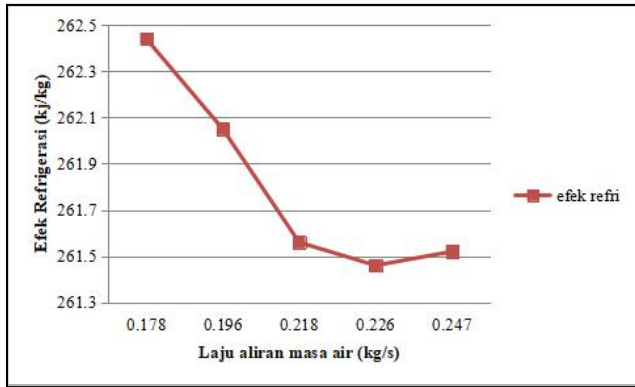
1. Pengaruh Laju Aliran Air Terhadap Daya Kompresor



Gambar 5. Hubungan Laju Masa Air-Daya Kompresor

Gambar 5 memperlihatkan trend daya kompresor naik sering bertambah penyerapan masa air di FCU, sehingga efek refrigerasi (beban evaporator) semakin naik pula. Nilai terendah kerja kompresor berkisar 61,55 W dan nilai tertinggi 62,06 W pada laju aliran masa air 0,247 kg/s.

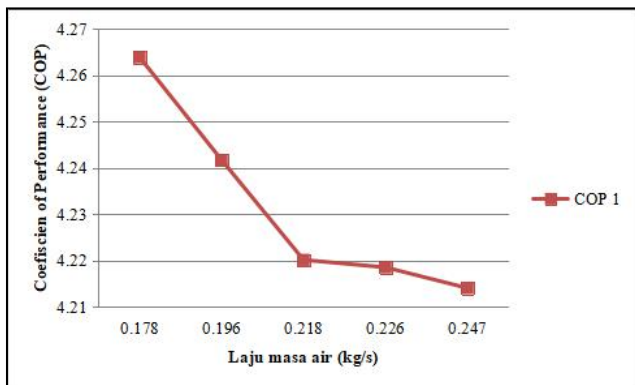
2. Pengaruh Laju Aliran Massa Terhadap Efek Refrigerasi



Gambar 6. Hubungan Laju Masa Air- Efek Refrigerasi

Gambar di atas memperlihatkan pengaruh laju aliran masa air terhadap penurunan efek refrigerasi apabila laju aliran masa air diluar pipa naik. Pada laju aliran masa fluida 0,178 kg/s efek refrigerasi 262,2 kJ/kg. Kemudian mengalami penurunan tajam pada 0,218 kg/s yakni mencapai 261,6 kJ/s dan dari selanjutnya penurunan hampir merata, hal ini disebabkan kondisi pendinginan semakin merata sehingga kondisi permukaan mengalami proses isothermal.

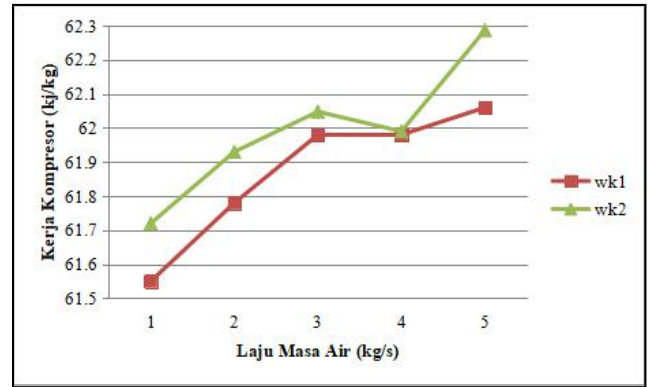
3. Pengaruh Laju Aliran Massa Air Terhadap COP Mesin Pendingin



Gambar 7. Hubungan Laju Masa Air- COP

Gambar 7 memperlihatkan pengaruh laju aliran masa air dan pengaruhnya terhadap COP. Pada laju aliran masa fluida 0,178 kg/s koefisien performen (COP) 4,26. Kemudian mengalami penurunan tajam pada 0,218 kg/s yakni mencapai 4,22 dan selanjutnya penurunan hampir merata hingga mencapai COP sebesar 4,21, hal ini disebabkan laju penyerapan kalor juga terjadi perubahan sebanding dengan peningkatan laju aliran masa fluida.

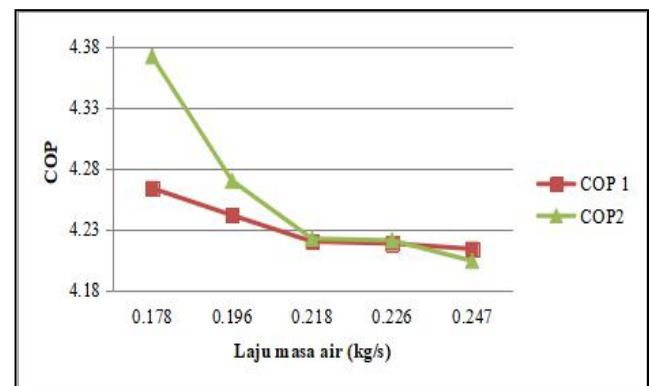
4. Pengaruh Perbandingan Perubahan Kecepatan Udara Terhadap Daya Kompresor



Gambar 8 Perbandingan Grafik Laju Air - Kerja Kompresor

Pada grafik di atas terlihat trend daya kompresor naik sering bertambah penyerapan masa air di FCU, sehingga efek refrigerasi (beban evaporator) semakin naik pula. Besarnya kerja kompresor dipengaruhi oleh penyerapan kalor lingkungan di evaporator dan kecepatan fluida pendinginan. Kerja kompresor dengan kecepatan udara 2 lebih tinggi dari pada kerja kompresor 1, dimana pada laju aliran masa terendah 0,178 kgs masing masing kerja kompresor adalah mencapai 61,72 dan 61,55 mempunyai selisih kenaikan 0,3 % . Begitu pula pada kondisi laju aliran masa tertinggi 0,247 kg/s mencapai 62,06 dan 62,287 terjadi perbedaan sekitar 0,4 % . Semakin cepat laju aliran masa fluida maka semakin kecil penyerapan kalor di evaporator sehingga kerja kompresor semakin tinggi dan di FCU proses pendinginannya semakin berkurang

5. Pengaruh Perbandingan COP - Laju Aliran Massa Air

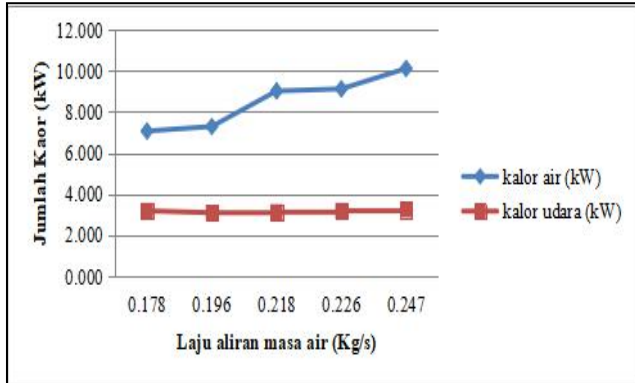


Gambar 9. Perbandingan COP - Laju Massa Air

Gambar di atas memperlihatkan perbandingan nilai COP kedua kompresor dengan kenaikan laju aliran masa fluida dari 0,178 hingga 0,247 kg/s. Pada 0,178 kg/s perbedaan COP cukup signifikan dimana pada COP 2 sebesar 4,337 dan COP 1 sebesar 4,26 , pada kondisi ini perbedaan sebesar 2,4 % . Kemudian terjadi penurunan COP hingga laju aliran masa terbesar 0,247 kg/s sebesar 4,21 dan 4,20 dimana perbedaannya sekitar 0,2 % . Apabila kita

bandingkan nilai cop mesin pendingin dengan menambah kecepatan pendinginan air di evaporator maka terlihat cop semakin turun, sementara laju aliran masa air bertambah maka COP semakin stabil.

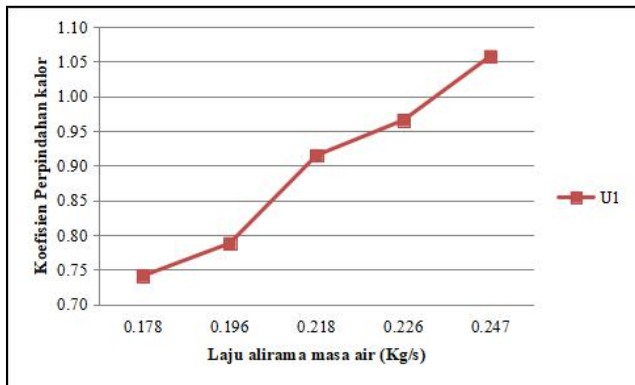
6. Perbandingan Kalor Sensibel Air dan Udara



Gambar 10. Perbandingan Kalor Sensibel- Laju Massa Air

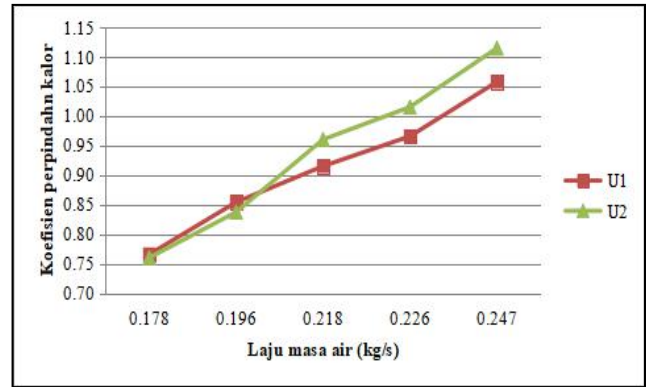
Penyerapan kalor oleh air lebih besar dari udara. Pada laju air 0,178 nilai kalor sensible air 7,068 kW lebih tinggi dibandingkan kalor sensible udara sebesar 3,18 kW. Nilai terbesar semakin naik laju aliran masa air pada titik 0,247 kalor yang diserap air sebesar 10,118 kW dan udara 3,24 kW. Dilihat secara rata rata maka 37 % air menyerap kalor lebih tinggi dibanding air.

7. Koefisien Perpindahan Kalor (U)



Gambar 11. Koefisien Perpindahan Kalor- Laju Massa Air

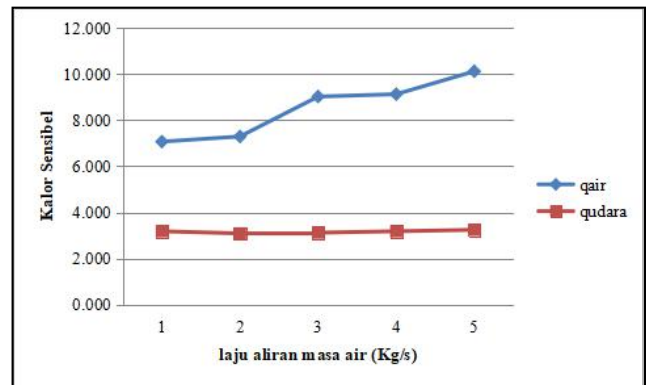
Gambar di atas menunjukkan pengaruh kenaikan laju aliran masa fluida terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh. Pada kecepatan rendah yakni 0,178 kg/s koefisien perpindahan kalor menyeluruh adalah 0,77 W/m² dan pada 0,247 koefisien perpindahan kalor menyeluruh 1,06 W/m². Dengan bertambah fluida flow maka koefisien perpindahan kalor menyeluruh juga naik, hal ini disebabkan karena pola aliran menyilang menyebabkan penurunan temperature udara sebanding dengan kenaikan laju aliran air di pendinginan evaporator. Jika dibandingkan dengan memperlambat kecepatan udara yang melewati FCU maka pengaruh perubahan laju aliran masa air terhadap koefisien perpindahan kalor akan meningkat (U₁) seperti pada **Grafik 8** berikut:



Gambar 12. Koefisien Perpindahan Kalor - Laju Massa Air

Gambar 12 memperlihatkan pengaruh kenaikan laju aliran masa fluida terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh terhadap dua kondisi U₁ dan U₂. Pada kecepatan laju aliran masa rendah yakni 0,178 kg/s koefisien perpindahan kalor menyeluruh U₁ adalah 0,77 W/m² dan U₂ sebesar 0,76. Dan semakin naik laju aliran masa pada 0,247 koefisien perpindahan kalor menyeluruh U₁ 1,06 W/m² dan U₂ adalah 1,11. Dengan bertambah fluida flow maka koefisien perpindahan kalor menyeluruh juga naik, hal ini disebabkan karena pola aliran menyilang menyebabkan penurunan temperature udara sebanding dengan kenaikan laju aliran air di pendinginan evaporator.

8. Perbandingan Kalor Sensibel dan Aliran Udara



Gambar 13. Perbandingan Kalor Sensibel Air dan Udara

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa laju aliran masa air pendingin dan evaporator berpengaruh terhadap kerja kompresor dengan adanya kenaikan daya kompresor seiring bertambahnya massa air di FCU rata-rata sebesar 37% dibanding udara.

Penurunan dari efek refrigerasi yang sejalan dengan peningkatan laju aliran masa fluida di sistem HE disebabkan oleh kondisi pendinginan yang kian merata sehingga memicu kondisi permukaan mengalami proses isothermal.

Penambahan kecepatan pendinginan air di evaporator mengakibatkan perbandingan nilai COP mesin pendingin semakin menurun. Sementara itu, jika laju aliran massa air bertambah maka nilai COP akan kian stabil.

Nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U) meningkat seiring bertambahnya laju penyerapan kalor antara sistem primer dengan air yang didinginkan oleh evaporator. FCU air yang mengalami penurunan temperatur akan menyerap kalor udara dengan koefisien perpindahan menyeluruh yang mencapai 1,16 kW

Dengan bertambah aliran fluida maka koefisien perpindahan kalor menyeluruh juga naik, hal ini disebabkan karena pola aliran menyilang menyebabkan penurunan temperatur udara sebanding dengan kenaikan laju aliran air dipendingin evaporator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agung, K.W.P.A. 2020. Pengujian Performansi Pada Simulator AC Water Chiller Dengan Multiple Chilled Water. *Indonesian Journal of Laboratory*. 2 (3): 1–10
- [2] Pranoto, Agung., Kindi, Ablinur Al., Pramono, Gatot Eka. 2023. Analisis Pengaruh Cleaning Tubing Kondensor Terhadap Performa Sistem Refrigerasi Mesin Water Cooled Chiller Kapasitas 650TR. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 14(1) :351–362
- [3] Mitrakusuma, W. H., Andriyanto, S., Putri, R.D.R. 2010. Analisa Performansi Sistem Pendingin Ruangan dan Efisiensi Energi Listrik pada Sistem Water Chiller dengan Penerapan Metode Cooled Energy Storage. *Jurnal Energi dan Manufaktur*. 4 (1): 43–50
- [4] Saksono, Puji. 2013. Analisa Siklus Ideal dan Aktual pada Mobile Air Conditioning dengan Menggunakan R-134a dan Hidrokarbon MC-134. *Jurnal Transmisi*. 9 (2): 903–910
- [5] Herlianika, H. 2005. *Eksperimen dengan Alat Peraga Refrigerasi Dasar*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [6] Anwar, K. 2010. Efek Beban Pendingin terhadap Performa Sistem Mesin Pendingin. *Jurnal SMARTek*. 8 (3): 203
- [7] Wang, C and Tu, C. 1988. Effects of Noncondensable Gas on Laminar Film Condensation in a Vertical Tube. *International Journal of Heat Mass Transfer*. 31: 2339–2345
- [8] Mitrakusuma, W. H., Andriyanto, S., Putri, R.D.R.. 2018. Pengaruh Variasi Debit Refrigerant Sekunder Terhadap Kinerja Sistem Chiller Brine Cooling, *Prosiding Seminar Nasional ReTIII ke-13*: 385–391
- [9] Wirawan, I. K. G. 2009. Analisa Performansi Pengkondisian Udara Tipe Window dengan Penambahan Alat Penukar Kalor. *Jurnal ilmiah Teknik Mesin CAKRAM* 3 (2):157–163