

Pengaruh Kecepatan Udara Evaporator Terhadap COP AWG SRKU

1st Muhammad Iqbal
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

iqbaltf@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Tri Ayodha Ajiwiguna
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

triayodha@telkomuniversity.ac.id

3rd Nurwulan Fitriyanti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

nurwulanf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — *Atmospheric Water Generator (AWG)* berbasis Sistem Kompresi Uap (SRKU) adalah alat yang memproduksi air dari udara atmosfer melalui proses dehumidifikasi. Sistem ini mampu menghasilkan air minum di berbagai lokasi dengan memanfaatkan sumber daya eksternal. AWG SRKU terdiri dari beberapa komponen utama yaitu evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi. Komponen-komponen ini bekerja sama untuk mengubah uap air dari fase gas menjadi fase cair melalui mekanisme kerja dan perpindahan panas. Pada bagian evaporator, terdapat kipas yang kecepatannya dapat diatur. Perubahan kecepatan kipas ini mempengaruhi nilai Coefficient of Performance (COP) dari AWG SRKU. Kecepatan yang diatur terdiri dari 1,5 m/s dengan COP 3,88; 1,5 m/s dengan COP 3,76; dan 1,9 m/s dengan COP 3,61.

Kata kunci— AWG , COP, Kecepatan, SRKU

I. PENDAHULUAN

Atmospheric Water Generator (AWG) adalah alat yang dapat menghasilkan air dengan memanfaatkan udara atmosfer melalui proses dehumidifikasi. Sistem ini mampu memproduksi air minum di berbagai lokasi dengan menggunakan sumber daya eksternal. Dehumidifikasi adalah proses penghilangan uap air dari udara atau gas atmosfer. Ada beberapa metode yang digunakan dalam dehumidifikasi, termasuk tiga teknologi utama yaitu mengembunkan uap air melalui permukaan pendingin, menggunakan bahan absorben untuk menyerap uap air, dan menggunakan membran pemisah gas [1].

Pada AWG yang menggunakan teknologi pengembunan air melalui permukaan pendingin, digunakan Sistem Kompresi Uap (SRKU). Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi. Komponen-komponen ini bekerja sama untuk mengubah uap air dari fase gas menjadi fase cair melalui kerja mekanis dan perpindahan panas. Pada bagian evaporator, terdapat kipas yang kecepatannya dapat diatur untuk mendapatkan performa sistem pendinginan yang optimal, atau *Coefficient of Performance (COP)*. Kecepatan kipas diatur menggunakan dimmer kipas untuk mencapai COP yang terbaik [1].

II. KAJIAN TEORI

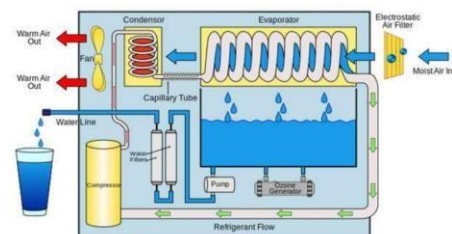
A. Atmospheric Water Generator (AWG)

Atmospheric Water Generator adalah alat yang mengekstrak air dari kelembapan di udara sekitar. Air yang dihasilkan dapat menjadi tambahan sumber air tawar dan dapat diolah lebih lanjut melalui proses penyaringan dan pemurnian untuk membuatnya aman dikonsumsi manusia. Proses ini ramah lingkungan karena kelembapan yang diambil akan dipulihkan secara alami melalui siklus hidrologi .

Pengujian AWG pada berbagai kondisi iklim telah dilakukan oleh Patel dkk [2]. Rancangan pengujian melibatkan sebuah ruang iklim yang terdiri dari pemanas listrik dan pelembap, bersama dengan sistem AWG. Penyertaan ruang iklim ini memungkinkan penciptaan kondisi cuaca yang mendukung untuk pengoperasian AWG, tanpa tergantung pada lokasi. Berdasarkan hasil uji coba, perangkat AWG terbukti berfungsi efektif pada kondisi lingkungan yang panas dan kelembapan relatif tinggi. Sebagai contoh, perangkat AWG yang diuji pada suhu operasional 35°C dan kelembapan relatif (RH) 95% memberikan tingkat produksi air sebesar 1,78 liter/jam dengan konsumsi energi spesifik sebesar 0,75 kWh/liter [2] .

B. Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU)

Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU) adalah sistem yang terdiri dari evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi. Komponen-komponen ini bekerja sama untuk mengubah zat dari fase uap menjadi fase cair melalui mekanisme kerja dan perpindahan panas [1]. Proses ini digambarkan dalam skema di bawah:



GAMBAR 2.1

Diagram Skema AWG SRKU atau SRKU

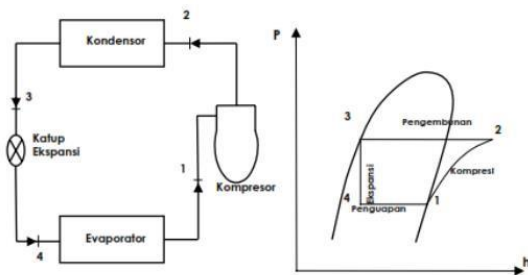
Refrigeran bertekanan rendah masuk ke kompresor. Dalam proses kompresi, refrigeran ditekan hingga mencapai tekanan yang lebih tinggi, yang juga meningkatkan temperaturnya saat memasuki kondensor. Dalam proses kondensasi, refrigeran yang bertemperatur tinggi melepaskan panasnya ke lingkungan. Kipas angin sering digunakan untuk meningkatkan laju perpindahan panas dari refrigeran ke udara sekitar dengan menambahkan aliran udara tambahan di atas kumparan kondensor [1].

Setelah proses kondensasi, refrigeran berubah dari fase gas menjadi fase cair dan temperaturnya turun. Refrigeran cair dari kondensor kemudian mengalir ke katup ekspansi. Dalam proses ekspansi, tekanan refrigeran diturunkan dari tinggi ke rendah. Penurunan tekanan ini memungkinkan refrigeran yang bersuhu rendah dan bertekanan rendah masuk ke evaporator. Suhu di dalam evaporator lebih rendah daripada suhu lingkungan, sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan panas.

C. Coefficient Of Performance (COP)

Unjuk kerja dari mesin pendingin dapat dinilai melalui nilai coefficient of performance (COP). Semakin tinggi nilai COP, semakin efisien mesin pendingin tersebut. COP dihitung dengan membagi dampak refrigerasi dengan kerja kompresi [3].

Variabel yang mempengaruhi nilai COP meliputi dampak refrigerasi dan perubahan kerja kompresi. Dampak refrigerasi dihitung dengan mengurangi kalor yang masuk ke evaporator atau keluar dari katup ekspansi dari kalor yang keluar dari evaporator atau masuk ke kompresor. Perubahan kerja kompresi dihitung dengan mengurangi kalor yang keluar dari evaporator atau masuk ke kompresor dari kalor yang keluar dari kompresor atau masuk ke kondensor [3].



GAMBAR 2.2
Komponen Utama SRKU dan Diagram P-h

Saat refrigeran mengalir melalui evaporator, perpindahan panas dari ruangan yang didinginkan menyebabkan refrigeran menguap. Dengan menggunakan refrigeran dalam evaporator sebagai volume kontrol, keseimbangan massa dan Hukum Termodinamika I menghasilkan perpindahan panas sebesar :

$$Q_e = \dot{m} (h_1 - h_4) \text{ (Kw)}$$

Refrigeran meninggalkan evaporator dan kemudian masuk ke kompresor. Di dalam kompresor, refrigeran dikompresi hingga tekanan dan temperaturnya meningkat. Diasumsikan tidak ada perpindahan panas dari dan ke kompresor. Dengan menerapkan keseimbangan massa dan laju energi (Hukum Termodinamika I) pada volume kontrol yang melingkupi kompresor, diperoleh daya kompresor sebagai berikut:

$$P = \dot{m} (h_2 - h_1) \text{ (Kw)}$$

Refrigeran kemudian mengalir melalui kondensor, di mana refrigeran mengembun dan melepaskan panas ke udara sekitar yang memiliki suhu lebih rendah. Untuk volume kontrol yang melingkupi refrigeran di dalam kondensor, laju perpindahan panas dari refrigeran adalah:

$$Q_c = \dot{m} (h_2 - h_3) \text{ (Kw)}$$

Akhirnya, refrigeran pada kondisi 3 memasuki alat ekspansi dan mengalami ekspansi hingga mencapai tekanan evaporator. Dalam proses ekspansi yang ireversibel ini, tekanan refrigeran menurun dan disertai peningkatan entropi spesifik. Refrigeran keluar dari katup ekspansi pada kondisi 4 dalam bentuk campuran uap-cair. Kualitas uap yang terkandung pada kondisi 4 dapat dihitung dengan persamaan [3]:

$$x_1 = \frac{h_4 - h_{f4}}{h_{fg4}}$$

Dimana :

h_{f4} = Enthalpy spesifik cairan jenuh (KJ/Kg)

h_{fg} = Enthalpy spesifik campuran

h_g = Enthalpy spesifik uap jenuh (KJ/Kg)

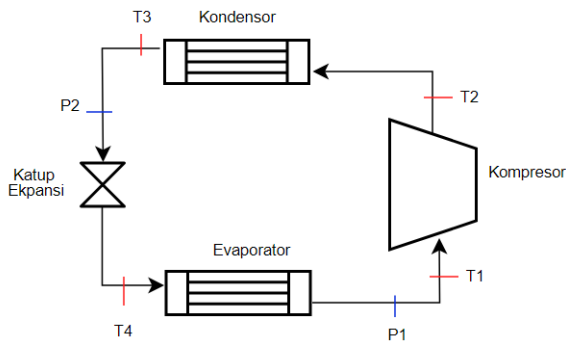
D. Kontrol Kecepatan Kipas

Pengontrolan kecepatan kipas bertujuan untuk mengetahui pengaruh aliran udara yang masuk dan keluar dari evaporator saat diatur dengan kecepatan berbeda menggunakan dimmer. Beberapa penelitian terkait pengaruh kecepatan kipas terhadap COP menunjukkan bahwa kinerja sistem VCR menggunakan refrigeran R410A memiliki COP dalam rentang 2,95-3,20 dan kapasitas pendinginan antara 1.024 watt hingga 1.065 watt. Selain itu, metode pengembangan alat uji sistem VCR yang disajikan dalam penelitian ini memainkan peran penting dalam menyelidiki kinerja sistem VCR. Secara umum, kinerja sistem VCR dengan indikator COP cenderung menurun seiring dengan peningkatan kecepatan putaran kipas (rpm) [4].

Kecepatan kipas evaporator yang semakin tinggi akan meningkatkan laju kalor yang diserap oleh evaporator, laju kalor yang dilepaskan oleh kondensor, serta kerja kompresor. Namun, kecepatan fan evaporator atau kecepatan aliran udara keluar dari evaporator tidak mempengaruhi nilai COP pada penyegar udara [5].

III. METODE

Pengujian dilakukan dengan mengatur tiga tingkat kecepatan udara yang memasuki evaporator, yaitu 1,5 m/s, 1,7 m/s, dan 1,9 m/s. Variasi ini bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana perubahan kecepatan udara yang masuk ke evaporator mempengaruhi *Coefficient of Performance* (COP) pada sistem AWG SRKU. Setiap bagian dari sistem AWG SRKU akan diberi penanda untuk setiap alat pengukuran yang dipasang.



GAMBAR 3.1
Siklus Refrigerasi Kompresi Uap pada AWG

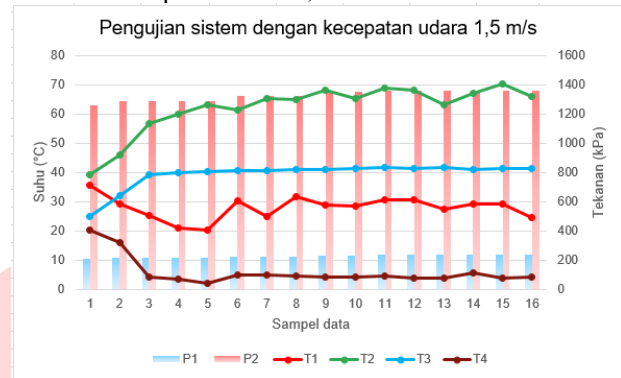
1. Pengukur suhu termokopel (T1) untuk mengukur suhu evaporator dalam satuan (°C) dipasang pada pipa outlet evaporator.
2. Pengukur suhu termokopel (T2) untuk mengukur suhu kompresor dalam satuan (°C) dipasang pada pipa outlet kompresor.
3. Pengukur suhu termokopel (T3) untuk mengukur suhu kondensor dalam satuan (°C) dipasang pada pipa outlet kondensor.
4. Pengukur suhu termokopel (T4) untuk mengukur suhu katup ekspansi dalam satuan (°C) dipasang pada pipa inlet evaporator.
5. Pengukur tekanan manometer (P1) pada input kompresor untuk mengukur tekanan rendah dengan satuan psi.
6. Pengukur tekanan manometer (P2) pada input kompresor untuk mengukur tekanan tinggi dengan satuan psi.
7. Anemometer dipasang pada cerobong *cooling chamber* untuk mengukur kecepatan udara yang masuk dalam satuan (m/s).
8. Wattmeter dipasang pada saklar listrik untuk mengukur daya (W), tegangan (Volt), dan arus (Ampere).

Pada setiap sesi pengujian dilakukan pengambilan data suhu dan tekanan di tiap titik utama dalam siklus (T1, T2, T3, T4, P1, dan P2). Data ini akan digunakan untuk mencari nilai entalpi pada setiap titik tersebut. Dengan nilai entalpi yang diperoleh, analisis lebih lanjut dilakukan untuk menghitung koefisien performansi pendinginan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan mengeringkan pisang menggunakan sistem pengering makanan

A. Kecepatan udara 1,5 m/s



GAMBAR 4.1
Grafik Pengujian Sistem Kecepatan Udara 1,5 m/s

Berdasarkan grafik di atas, tekanan rendah (P1) mengalami sedikit peningkatan dari 204,75 kPa hingga 232,33 kPa dengan rata-rata tekanan rendah sebesar 221,988 kPa. Begitu pula dengan tekanan tinggi (P2) juga mengalami peningkatan secara bertahap dari 1239 kPa hingga 1342,425 kPa dengan rata-rata tekanan tinggi sebesar 1311,398 kPa. Untuk suhu pada inlet kompresor atau outlet evaporator (T1) terjadi fluktuasi data, namun tidak begitu signifikan dengan rata-rata suhu sebesar 27,913°C. Suhu inlet kondensor atau outlet kompresor (T2) mengalami peningkatan yang bertahap dari 39,2°C sampai 70,2°C dengan rata-rata suhu 62,044°C. Selanjutnya pada suhu inlet katup ekspansi atau output kondensor (T3) suhu mengalami peningkatan dari 24,9°C sampai 41,6°C dengan rata-rata 39,263°C. Terakhir, pada inlet evaporator atau outlet katup ekspansi, suhu mengalami penurunan dari 20,1°C hingga 2°C dengan nilai rata-rata 5,85°C.

Penentuan nilai entalpi menggunakan tabel properti untuk refrigeran R134a atau diagram p-h berdasarkan tekanan dan suhu pada titik utama pada siklus.

$$h_1 = 276,7 \text{ kJ/kg. K}$$

$$h_2 = 320,5 \text{ kJ/kg. K}$$

$$h_3 = 106,7 \text{ kJ/kg. K}$$

$$h_4 = 106,7 \text{ kJ/kg. K}$$

Perhitungan nilai COP dengan hasil perhitungan nilai efek pendinginan Q_{evap} dan nilai kerja input W_{komp} . Nilai kalor yang diserap oleh evaporator sama dengan nilai kalor yang dilepas oleh udara, sehingga $Q_{\text{evap}} = Q_{\text{udara}}$. Kalor yang dilepas udara:

Data dari pengukuran:

$$v_u = \text{rata-rata kecepatan kipas} = 1,488 \text{ m/s}$$

$$A_{\text{cer}} = \text{luas permukaan cerobong}$$

$$= \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,056 \right)^2 = 0,0024 \text{ m}^2$$

$$T_1 = \text{suhu outlet evaporator} = 27,913^\circ\text{C}$$

$$T_4 = \text{suhu inlet evaporator} = 5,85^\circ\text{C}$$

Perhitungan:

- Laju Alir Massa Udara

$$\dot{m}_u = \rho_u \times v_u \times A_{\text{cer}}$$

$$\dot{m}_u = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,488 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,0024 \text{ m}^2 = 0,004284 \text{ kg/s}$$

- Beban Pendinginan

$$Q_{\text{udara, evap}} = \dot{m}_{\text{ref}} (h_1 - h_4) = \dot{m}_u \times c_u \times (T_1 - T_4)$$

$$Q_{\text{udara, evap}} = 0,004284 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K} \times (27,913 - 5,85)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{udara, evap}} = 0,113419 \text{ kW}$$

- Laju Alir Massa Refrigeran

$$\dot{m}_{\text{ref}} = \frac{Q_{\text{udara}}}{h_1 - h_4} = \frac{0,113419 \text{ kW}}{(276,7 - 106,7) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0,000667 \text{ kg/s}$$

- Daya Kompresi

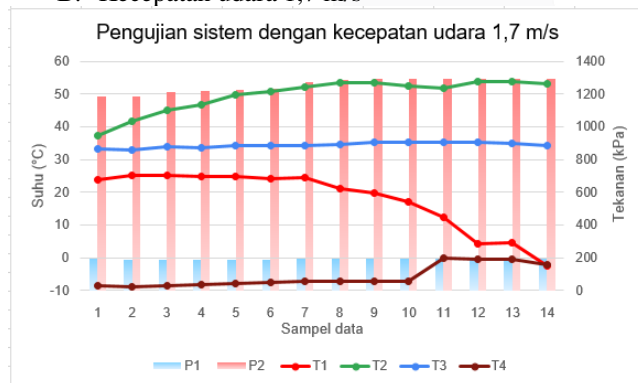
$$W_{\text{komp}} = \dot{m}_{\text{ref}} (h_2 - h_1) = 0,000667 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (320,5 - 276,7) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K}$$

$$W_{\text{komp}} = 0,0292 \text{ kW}$$

- COP Refrigerasi

$$\text{COP}_R = \frac{Q_{\text{evap}}}{W_{\text{komp}}} = \frac{\dot{m}_{\text{ref}} (h_1 - h_4)}{\dot{m}_{\text{ref}} (h_2 - h_1)} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{0,113419 \text{ kW}}{0,0292 \text{ kW}} = 3,88$$

B. Kecepatan udara 1,7 m/s



GAMBAR 4.2

Grafik Pengujian Sistem dengan Kecepatan Udara 1,7 m/s

Berdasarkan grafik di atas, tekanan rendah (P1) dengan rata-rata tekanan rendah sebesar 189,89 kPa. Namun dengan tekanan tinggi (P2) mengalami peningkatan secara bertahap dari 1170,05 kPa hingga 1273,475 kPa dengan rata-rata tekanan tinggi sebesar 1235,817 kPa. Untuk suhu pada *inlet* kompresor atau *outlet* evaporator (T1) mengalami penurunan yang signifikan dari suhu 25°C hingga 4,3°C dengan rata-rata suhu sebesar 19,31°C. Suhu *inlet* kondensor atau *outlet* kompresor (T2) mengalami peningkatan yang bertahap dari 37,3°C sampai 53,9°C dengan rata-rata suhu 49,43°C. Selanjutnya pada suhu *inlet* katup ekspansi atau output kondensor (T3) konstan dengan rata-rata 34,43°C. Terakhir, pada *inlet* evaporator atau *outlet* katup ekspansi, suhu konstan lalu mengalami peningkatan dari -9 hingga -0,2°C dengan nilai rata-rata -6,13°C.

Penentuan nilai entalpi menggunakan tabel properti untuk refrigeran R134a atau diagram p-h berdasarkan tekanan dan suhu pada titik utama pada siklus.

$$h_1 = 269,5 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$h_2 = 314,7 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$h_3 = 99,37 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

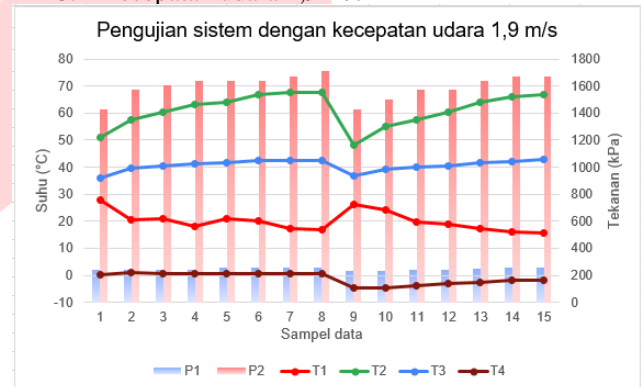
$$h_4 = 99,37 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Perhitungan nilai COP dengan hasil perhitungan nilai efek pendinginan Q_{evap} dan nilai kerja input W_{komp}

$$\text{COP}_R = \frac{Q_{\text{evap}}}{W_{\text{komp}}} = \frac{\dot{m}_{\text{ref}} (h_1 - h_4)}{\dot{m}_{\text{ref}} (h_2 - h_1)} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{(269,5 - 99,37) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}}{(314,7 - 269,5) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}}$$

$$\text{COP}_R = 3,76$$

C. Kecepatan udara 1,9 m/s



GAMBAR 4.3

Grafik Pengujian Sistem dengan Kecepatan Udara 1,9 m/s

Berdasarkan grafik di atas, tekanan rendah (P1) konstan dengan rata-rata tekanan rendah sebesar 244,28 kPa. Namun pada tekanan tinggi (P2) mengalami sedikit fluktuasi dengan rata-rata tekanan tinggi sebesar 1576,85 kPa. Untuk suhu pada *inlet* kompresor atau *outlet* evaporator (T1) mengalami fluktuasi dari 27,7°C turun hingga 16,9°C kemudian kembali naik ke suhu 26,3 dan mengalami penurunan yang bertahap hingga 15,5°C, dengan rata-rata pengukuran suhu sebesar 20,04°C. Suhu *inlet* kondensor atau *outlet* kompresor (T2) mengalami kenaikan suhu dari 51,2°C sampai 67,5°C sampai lalu turun ke 48,2°C dan kembali mengalami peningkatan hingga 66,7°C dengan rata-rata pengukuran suhu 61,03°C. Selanjutnya pada suhu *inlet* katup ekspansi atau output kondensor (T3) suhu cenderung konstan dengan rata-rata 40,6°C. Terakhir, pada *inlet* evaporator atau *outlet* katup ekspansi, suhu konstan kemudian mengalami penurunan suhu hingga -4,8°C dan kembali naik ke -1,8°C dengan rata-rata pengukuran -1,18°C.

Penentuan nilai entalpi menggunakan tabel properti untuk refrigeran R134a atau diagram p-h berdasarkan tekanan dan suhu pada titik utama pada siklus.

$$h_1 = 269,3 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$h_2 = 313,5 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$h_3 = 109,7 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$h_4 = 109,7 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Perhitungan nilai COP dengan hasil perhitungan nilai efek pendinginan Q_{evap} dan nilai kerja input W_{komp}

$$\text{COP}_R = \frac{Q_{\text{evap}}}{W_{\text{komp}}} = \frac{\dot{m}_{\text{ref}}(h_1 - h_4)}{\dot{m}_{\text{ref}}(h_2 - h_1)} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$= \frac{(269,3 - 109,7) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}}{(313,5 - 269,3) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}}$$

$$\text{COP}_R = 3,61$$

Dari 3 pengujian yang dilakukan dengan variasi kecepatan udara yang berbeda, yaitu kecepatan udara 1,5 m/s, kecepatan udara 1,7 m/s, dan kecepatan udara 1,9 m/s, diperoleh data dan analisis sebagai berikut:

TABEL 4.1
Rekap Hasil Pengujian Kecepatan Udara pada SRKU

Parameter	Kecepatan Udara		
	1,5 m/s	1,7 m/s	1,9 m/s
COP	3,88	3,76	3,61

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa pengaruh kecepatan udara pada evaporator terhadap Coefficient of Performance (COP) AWG SRKU menunjukkan bahwa pada kecepatan udara 1,5 m/s menghasilkan COP tertinggi, mencapai 3,88. Hal ini menunjukkan bahwa pada kecepatan tersebut, sub-sistem SRKU bekerja secara optimal dalam hal efisiensi dan efektivitas pendinginan. Oleh karena itu, kecepatan udara 1,5 m/s dapat dianggap sebagai kecepatan optimal untuk operasi sistem pendinginan pada SRKU.

REFERENSI

- [1] A. Tripathi *et al.*, "Generator Air Atmosfer," 2016. [Online]. Available: www.onlinedoctranslator.com
- [2] G. Raveesh, R. Goyal, and S. K. Tyagi, "Advances in atmospheric water generation technologies," *Energy Conversion and Management*, vol. 239. Elsevier Ltd, Jul. 01, 2021. doi: 10.1016/j.enconman.2021.114226.
- [3] S. Lubis, M. A. Siregar, W. Septiawan Damanik, I. siregar, and E. Sarman Hasibuan, "ANALISA NILAI KOEFISIEN PRESTASI (COP) LEMARI PEMBEKU YANG DIHASILKAN OLEH SOLAR CELL."
- [4] A. Fauzi, R. Valderama, A. Abdulah, and A. Ilmar Ramadhan, "ANALISIS KINERJA EVAPORATOR PADA VAPORS COMPRESSION REFRIGERATION SYSTEM MENGGUNAKAN REFRIGERANT R410A," 2022, doi: 10.24853/jurtek.14.1.127-138.
- [5] Zahri Kadir dan Tabrani, "PENGARUH PERUBAHAN PENGATURAN SUHU DAN KECEPATAN FAN EVAPORATOR TERHADAP PERFORMANSI ALAT PENYEGAR UDARA".