

Sistem Pendingin Kondenser Ekstraktor Soxhlet Menggunakan Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

1st Rakha Adhidevara

Fakultas Teknik Elektro

Telkom University

Bandung, Indonesia

rakhaadhidevara@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Tri Ayodha Ajiwiguna

Fakultas Teknik Elektro

Telkom University

Bandung, Indonesia

triayodha@telkomuniversity.ac.id

3rd Indra Wahyudin Fathona

Fakultas Teknik Elektro

Telkom University

Bandung, Indonesia

indrafathonah@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penelitian ini membahas perancangan dan pengujian Sistem Refrigerasi Kompreasi Uap (SRKU) sebagai pendingin kondensor pada ekstraktor soxhlet. Latar belakang penelitian adalah perlunya sistem pendingin yang efisien dan berkelanjutan untuk proses ekstraksi yang berlangsung secara kontinu. Metode yang digunakan meliputi desain dan perakitan SRKU, pengujian performa menggunakan beban panas dari heater, serta verifikasi kinerja melalui aplikasi pada sistem soxhlet dengan pelarut etanol. Parameter utama yang diukur meliputi kapasitas pendinginan (Q), Coefficient of Performance (COP), laju produksi kondensat, dan Specific Energy Consumption (SEC). Hasil pengujian menunjukkan bahwa SRKU mampu menghasilkan kapasitas pendinginan 100–140 W, yang cukup untuk melawan panas yang dihasilkan dari pemanas soxhlet sebesar 100 W. Nilai COP meningkat saat laju aliran air diturunkan, sedangkan laju produksi kondensat optimal terjadi pada set point suhu menengah. Hasil laju produksi kondensat yang mempunyai hasil terbaik pada suhu menengah. Kesimpulan utama adalah bahwa SRKU yang dirancang dapat diintegrasikan dengan sistem soxhlet dan memiliki kinerja yang memadai untuk kebutuhan pendinginan, serta berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

Kata kunci— Sistem Refrigerasi Kompreasi Uap, Soxhlet, Kapasitas Pendinginan, COP, SEC

I. PENDAHULUAN

Proses ekstraksi Soxhlet merupakan metode ekstraksi kontinu yang banyak digunakan dalam penelitian dan industri untuk memisahkan komponen aktif dari bahan padat menggunakan pelarut organik. Dalam proses ini, pelarut diuapkan, kemudian uapnya dikondensasikan menjadi cairan yang menetes ke dalam thimble berisi sampel. Kondensasi pelarut memerlukan sistem pendingin yang bekerja secara kontinu dan stabil agar pelarut dapat digunakan kembali tanpa banyak kehilangan. Pendinginan yang tidak optimal dapat menurunkan efisiensi ekstraksi, memperpanjang waktu proses, serta meningkatkan konsumsi pelarut.

Ada beberapa metode pendinginan yang dapat digunakan pada kondensor soxhlet, seperti alat penukaran kalor (heat exchanger) dan termoelektrik. Namun, heat exchanger tidak dapat menurunkan suhu air menjadi rendah karena hanya terjadi pertukaran panas saja tanpa adanya siklus refrigerasi atau media pendingin bersuhu lebih rendah yang dapat membuat air menjadi dingin, sedangkan modul termoelektrik memiliki kapasitas pendinginan yang terbatas dan efisiensi energi yang rendah pada beban panas tinggi. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sistem pendingin yang dapat memberikan kapasitas

pendinginan cukup besar, efisien, hemat energi, dan mudah diintegrasikan dengan peralatan ekstraksi soxhlet.

Sistem Refrigerasi Kompreasi Uap (SRKU) menawarkan solusi yang mampu memberikan pendinginan stabil dengan kapasitas pendinginan yang memadai, dan juga suhu rendah yang dapat dihasilkan. Sistem Refrigerasi Kompreasi Uap memanfaatkan siklus termodinamika dengan perubahan fase refrigeran untuk menyerap panas dari media pendingin dan membuangnya ke lingkungan. Sistem Refrigerasi Kompreasi Uap ini terjadi dalam empat proses yang terjadi di komponen utamanya, yaitu proses kompresi, proses kondensasi, proses ekspansi dan proses evaporasi.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji SRKU yang terintegrasi dengan kondensor soxhlet. Sistem ini dirancang dengan mempertimbangkan kriteria suhu operasi, efisiensi energi, ketersediaan bahan, biaya pembuatan dan operasional, serta dampak lingkungan. Dengan adanya sistem pendingin ini, diharapkan dapat tercapai proses kondensasi pelarut yang optimal, sehingga efisiensi ekstraksi meningkat dan pelarut dapat digunakan kembali secara berkelanjutan dalam proses ekstraksi.

II. KAJIAN TEORI

Kajian teori pada penelitian ini berfokus pada prinsip kerja, parameter kinerja, dan indikator efisiensi yang digunakan dalam perancangan dan pengujian Sistem Refrigerasi Kompreasi Uap (SRKU) untuk aplikasi pendinginan pada kondensor Soxhlet. Pemahaman konsep dasar seperti kapasitas pendinginan, Coefficient of Performance (COP), dan Specific Energy Consumption (SEC) diperlukan untuk menganalisis performa sistem secara kuantitatif dan menentukan kelayakan penerapan SRKU dalam proses ekstraksi.

A. Sistem Refrigerasi Kompreasi Uap

Sistem Refrigerasi Kompreasi Uap (SRKU) merupakan teknologi pendinginan yang bekerja dengan memanfaatkan perubahan fase refrigeran untuk menyerap dan membuang panas. Prosesnya berlangsung melalui empat tahap utama dalam satu siklus tertutup :

- Kompresi : Kompresor menaikkan tekanan dan suhu refrigeran berbentuk uap dari tekanan rendah menjadi tekanan tinggi.
- Kondensasi : Refrigeran bertekanan tinggi dialirkan ke kondensor, di mana panasnya dibuang ke lingkungan, sehingga berubah dari uap menjadi cair pada tekanan tinggi.
- Ekspansi : Refrigeran cair melewati katup ekspansi atau pipa kapiler, di mana tekanannya

diturunkan secara drastis. Penurunan tekanan ini membuat suhu refrigeran turun signifikan.

- Evaporasi : Refrigeran cair bersuhu rendah menguap di evaporator sambil menyerap panas dari media yang didinginkan. Perubahan fase cair menjadi gas pada tahap ini menyerap energi panas dalam jumlah besar

B. Kapasitas Pendinginan

Kapasitas pendinginan adalah besaran panas yang dapat diserap oleh sistem pendingin dari medium yang didinginkan dalam satu satuan waktu. Besaran ini menggambarkan kemampuan sistem dalam menghilangkan panas dari beban pendinginan. Secara matematis dihitung dengan persamaan :

$$Q = \dot{m} \cdot C \cdot \Delta T$$

C. Coefficient of Performance (COP)

Coefficient of Performance (COP) adalah rasio antara kapasitas pendinginan yang dihasilkan oleh sistem pendingin terhadap daya listrik yang dikonsumsi untuk menghasilkan pendinginan tersebut. COP menjadi indikator efisiensi energi suatu sistem pendingin. Dirumuskan sebagai :

$$COP = \frac{Q}{W}$$

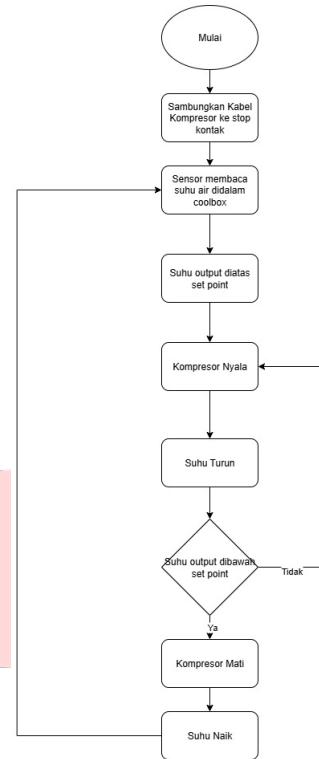
D. Specific Energy Consumption (SEC)

Specific Energy Consumption (SEC) adalah indikator yang digunakan untuk mengukur seberapa besar energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan produk atau hasil pendinginan tertentu. Dalam konteks penelitian ini, SEC digunakan untuk menghitung jumlah energi listrik yang diperlukan untuk menghasilkan laju produksi kondensat dari kondensor soxhlet. Persamaannya adalah:

$$SEC = \frac{\text{Konsumsi Daya (kWh)}}{\text{Laju Produksi Kondensat (}\frac{\text{ml}}{\text{s}}\text{)}}$$

III. METODE

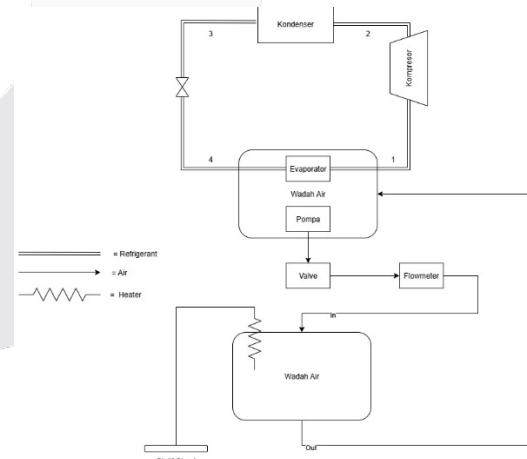
Sebelum diaplikasikan untuk sistem Soxhlet sistem refrigerasi kompresi uap (SRKU) akan diuji terlebih dahulu untuk melihat kapasitas pendinginan yang dapat dihasilkan oleh sistem pendingin yang dirancang. Untuk itu dilakukan pengujian menggunakan pemanas dimana pemanas tersebut di setting pada 100 Watt. Setelah uji menggunakan pemanas selesai maka barulah SRKU di aplikasikan pada kondensor soxhlet.



GAMBAR 1
Flowchart Pengujian

A. Pengujian menggunakan heater

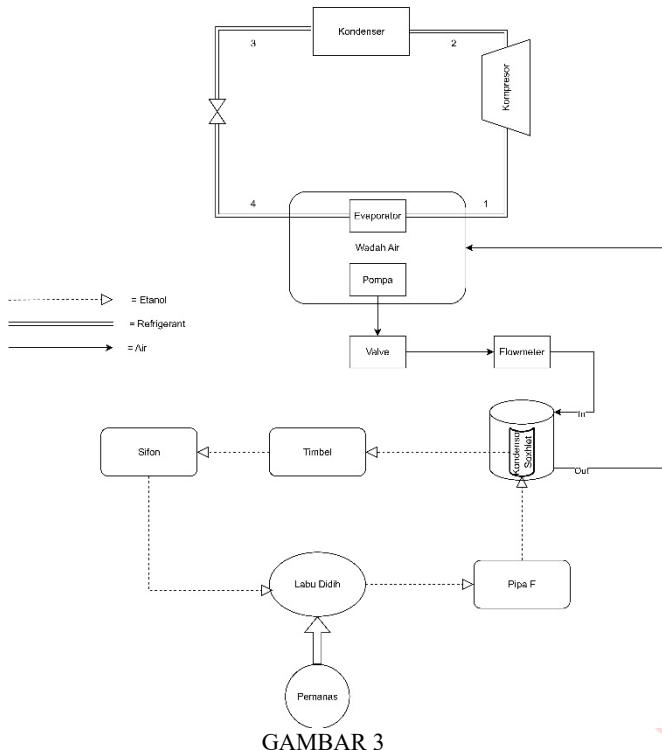
Pengujian ini bertujuan memverifikasi kemampuan pendinginan SRKU sebelum digunakan pada sistem soxhlet. Beban panas disimulasikan menggunakan heater untuk memastikan SRKU mampu menjaga suhu stabil dan mengimbangi panas dari pemanas kondensor. Pengujian ini juga dilakukan untuk menghitung nilai COP dari sistem pendingin yang sudah dibuat.



GAMBAR 2
Diagram Alur Pengujian Heater

B. Pengujian menggunakan sistem soxhlet

Pengujian ini bertujuan menentukan laju kondensat yang paling optimal pada berbagai set suhu dan juga laju aliran serta menghitung nilai *Specific Energy Consumption* (SEC) sistem. Hasilnya digunakan untuk mengevaluasi efisiensi Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU) pada kondisi operasi sebenarnya.

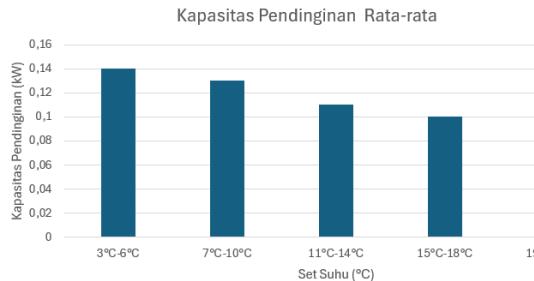


GAMBAR 3
Diagram Alir Pengujian Soxhlet

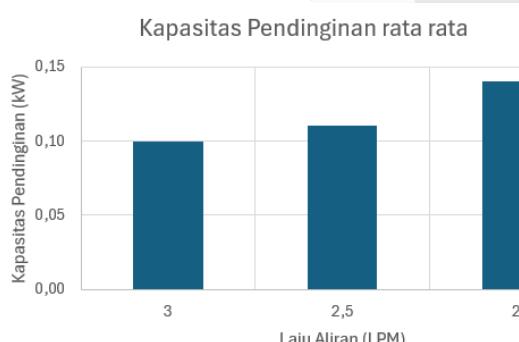
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Heater

- Nilai Kapasitas Pendinginan



GAMBAR 4
Grafik Nilai Kapasitas Pendinginan Terhadap Suhu

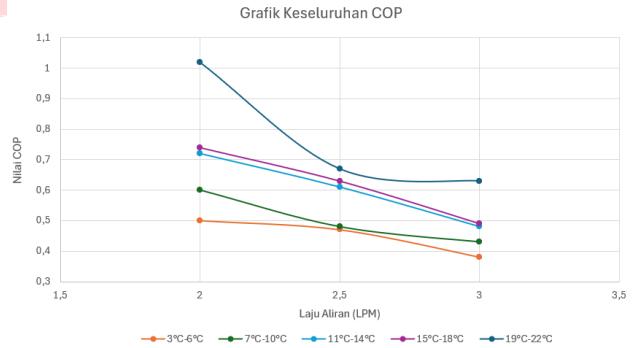


GAMBAR 5
Grafik Nilai Kapasitas Pendinginan Terhadap Laju Aliran

Berdasarkan dari nilai kapasitas pendinginan yang sudah didapat pada pengujian menggunakan heater menunjukkan bahwa nilai kapasitas pendinginan yang dicapai oleh sistem refrigerasi kompresi uap kami dapat digunakan dalam sistem ekstraksi Soxhlet. Karena pada sistem Soxhlet ini daya pemanas pada ekstraktor Soxhlet di set pada 100 watt. Dan nilai kapasitas pendinginan yang didapat oleh sistem pendingin kami bernilai 100-140 watt, dimana nilai tersebut sudah mencukupi untuk melawan energi yang dihasilkan oleh pemanas dari sistem soxhlet.

Dengan demikian, nilai kapasitas pendinginan yang diperoleh melalui uji heater dapat dikatakan telah memverifikasi bahwa sistem SRKU mampu menyeimbangkan bahkan melebihi energi pemanas yang digunakan dalam aplikasi sebenarnya. Hal ini menunjukkan bahwa alat SRKU yang dirancang telah berhasil melalui tahap uji performa sebelum digunakan pada pengujian ekstraksi soxhlet, dan hasilnya menunjukkan kinerja yang baik serta layak untuk diterapkan.

- Nilai COP



GAMBAR 6
Grafik COP

TABEL 1
Nilai COP

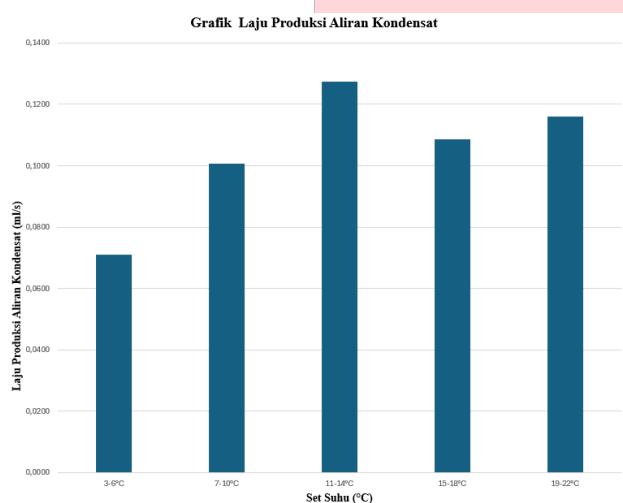
Set Suhu (°C)	Suhu (°C)	Laju Aliran (LPM)	Kapasitas Pendiginan (kW)	Total Daya (kW)	COP
3°C-6°C	3	0,12	0,32	0,38	
	2,5	0,14	0,3	0,47	
	2	0,15	0,3	0,5	
7°C-10°C	3	0,12	0,28	0,43	
	2,5	0,12	0,26	0,48	
	2	0,15	0,25	0,6	
11°C-14°C	3	0,09	0,18	0,48	
	2,5	0,11	0,18	0,61	
	2	0,13	0,18	0,72	
15°C-18°C	3	0,08	0,17	0,49	
	2,5	0,09	0,14	0,63	
	2	0,12	0,16	0,74	

19°C-22°C	3	0.08	0.12	0.63
	2.5	0.08	0.12	0.67
	2	0.15	0.14	1.02

Hasil pengujian heater menunjukkan bahwa nilai Coefficient of Performance (COP) dipengaruhi oleh laju aliran (LPM), perbedaan suhu (ΔT), dan konsumsi daya dari kompresor, pompa, serta fan kondensor. Pada suhu rendah (3–6°C), beban pendinginan besar membuat kompresor bekerja lebih lama dan konsumsi daya lebih tinggi, sedangkan pada suhu tinggi (19–22°C) waktu kerja kompresor lebih singkat sehingga konsumsi daya menurun, menyebabkan COP meningkat secara signifikan.

B. Hasil Pengujian Soxhlet

- Laju Produksi Kondensat

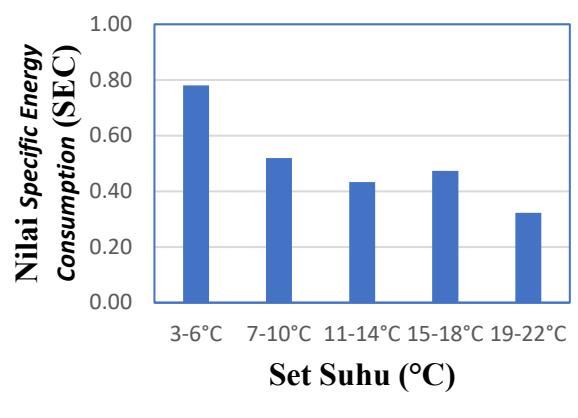


GAMBAR 7
Grafik Laju Produksi Aliran Kondensat

Pada suhu rendah, laju produksi kondensat pada kondensor Soxhlet menurun akibat fenomena *filmwise condensation* atau kondensasi berlapis. Menurut Yunus A. Çengel dalam *Heat Transfer*, mekanisme ini terjadi ketika uap menyentuh permukaan dingin dan membentuk lapisan tipis cairan (film) yang menyelimuti permukaan. Tidak seperti *dropwise condensation* yang langsung membentuk tetesan, *filmwise condensation* membuat kondensat menyebar merata di permukaan dan menebal seiring waktu.

Lapisan kondensat pada mekanisme ini berfungsi sebagai resistansi termal yang menghambat perpindahan panas. Semakin tebal lapisan, semakin rendah laju perpindahan panas dari uap ke dinding kondensor. Akibatnya, efisiensi kondensasi menurun dan uap panas yang baru sulit melepaskan panasnya, sehingga laju kondensasi dan produksi kondensat berkurang pada kondisi suhu rendah.

- Nilai *Specific Energy Consumption* (SEC)



GAMBAR 8
Grafik Nilai SEC

Berdasarkan grafik di atas, nilai *Specific Energy Consumption* (SEC) dalam satuan kWh/L menggambarkan hubungan antara konsumsi energi sistem pendingin dengan volume kondensat yang dihasilkan pada berbagai rentang suhu operasi. Nilai SEC tertinggi terdapat pada set suhu 3°C–6°C sebesar 0,78 kWh/Liter, yang menunjukkan efisiensi energi paling rendah. Kondisi ini terjadi karena kompresor harus bekerja lebih berat dengan waktu operasi yang lebih lama untuk mencapai suhu rendah, sehingga konsumsi energi meningkat, sementara volume kondensat yang dihasilkan relatif kecil akibat rendahnya laju aliran dan kurang optimalnya proses perpindahan panas. Perbandingan antara energi yang digunakan dan hasil kondensat pun menjadi tidak efisien.

Sebaliknya, SEC terendah tercatat pada set suhu 19°C–22°C sebesar 0,32 kWh/Liter, yang mencerminkan efisiensi energi paling baik. Pada rentang suhu menengah hingga tinggi (7°C–22°C), kompresor bekerja lebih ringan karena beban pendinginan berkurang, sehingga konsumsi energi menurun. Selain itu, volume kondensat yang terbentuk lebih banyak sehingga nilai SEC lebih kecil. Nilai SEC pada suhu menengah juga terlihat relatif stabil, menandakan sistem dapat bekerja lebih konsisten dan efisien dibandingkan ketika beroperasi pada suhu rendah.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU) yang dirancang menunjukkan kemampuan kapasitas pendinginan sebesar 100–140 watt, yang telah terbukti mencukupi untuk melawan beban panas dari pemanas soxhlet sebesar 100 watt. Hal ini mengindikasikan bahwa SRKU mampu menjaga suhu kondensasi tetap stabil dan memenuhi kebutuhan pendinginan pada proses ekstraksi. Nilai *Coefficient of Performance* (COP) yang diperoleh dipengaruhi oleh laju aliran, perbedaan suhu, dan konsumsi daya, di mana COP cenderung meningkat pada suhu operasi yang lebih tinggi akibat konsumsi daya yang lebih rendah dan waktu kerja kompresor yang lebih singkat.

Selain itu, pengujian laju produksi kondensat menunjukkan bahwa pada suhu rendah terjadi penurunan

produksi kondensat akibat fenomena filmwise condensation, yang menimbulkan resistansi termal dan menghambat perpindahan panas. Analisis *Specific Energy Consumption* (SEC) memperlihatkan bahwa efisiensi energi terbaik dicapai pada suhu 15°C–18°C dengan nilai 0.32 kWh/Liter, sedangkan efisiensi terendah terdapat pada suhu 3°C–6°C sebesar 0.78 kWh/Liter. Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa SRKU mampu bekerja secara efektif dan efisien dalam menjaga performa pendinginan, sehingga layak digunakan sebagai sistem pendingin pada kondensor soxhlet untuk mendukung proses ekstraksi yang berkelanjutan

REFERENSI

- [1] William B. et al. (2008). *Refrigeration & Air Conditioning Technology Six Edition*. Clifton Park USA.
- [2] Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2014). *Fundamentals of engineering thermodynamics* (8th ed.). Wiley.
- [3] ASHRAE (2020). ASHRAE Handbook – *Refrigeration*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [4] Y. A. Çengel, *Heat Transfer: A Practical Approach*, 2nd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2003.