

RANCANG SISTEM PENDINGIN : PENDINGIN KONDENSER EKSTRAKTOR SOXHLET MENGGUNAKAN PENUKAR KALOR

Fariz Akbar Kautsar¹
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Serang, Indonesia

farizak@student.telkomuniversity.ac.id

Rayzel Ammar Naufal Nugraha²
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

rayzelammar@student.telkomuniversity.ac.id

Abiraka Pancar Utama Sakti³
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bekasi, Indonesia

abirakaphs@student.telkomuniversity.ac.id

Metode ekstraksi Soxhlet memerlukan sistem pendingin yang stabil dan menjaga suhu di bawah sub-titik embun untuk mengoptimalkan proses kondensasi pelarut. Sistem pendingin konvensional, seperti penggunaan es batu atau aliran air kran, memiliki keterbatasan dalam efisiensi energi, kestabilan suhu, dan keberlanjutan operasional. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji prototipe sistem pendingin untuk condenser soxhlet berbasis Heat Exchanger (HX) yang hemat energi, mudah dirawat, dan kompatibel dengan ekstraktor Soxhlet untuk skala laboratorium. Prototipe dirancang dengan mempertimbangkan efektivitas pendinginan, biaya operasional, kompatibilitas, kemudahan perawatan, dan range of cooling, menggunakan komponen terpisah yang diintegrasikan menjadi sistem sirkulasi tertutup dan dapat langsung dipasang untuk digunakan pada condenser soxhlet. Pengujian dilakukan pada empat variasi laju aliran pendingin (2,00; 2,25; 2,50; dan 2,75 LPM) dengan parameter evaluasi meliputi efektivitas pendinginan, Coefficient of Performance (COP), dan Specific Energy Consumption (SEC). Penelitian ini menunjukkan bahwa Heat Exchanger dapat menjadi solusi alternatif yang andal dan berkelanjutan untuk sistem pendinginan pada proses ekstraksi Soxhle secara kontinu.

Kata kunci— Soxhlet, Kondensasi, Sistem Pendingin, Heat Exchanger, Efektivitas, Coefficient of Performance, Specific Energy Consumption

I. PENDAHULUAN

Metode ekstraksi Soxhlet banyak digunakan untuk memperoleh senyawa fitokimia dari biomassa karena mampu bekerja secara kontinu dan menghasilkan ekstrak dengan konsentrasi tinggi [1]. Namun, sistem pendingin konvensional yang umumnya menggunakan es batu atau aliran air kran memiliki keterbatasan, seperti kebutuhan penggantian berkala, konsumsi air berlebih, serta ketidakstabilan suhu pendinginan pada proses jangka panjang [2]. Kondisi ini berpotensi menghambat kondensasi pelarut dan menurunkan efisiensi ekstraksi.

Soxhlet adalah metode ekstraksi senyawa dari bahan padat yang bekerja secara kontinu dengan prinsip penguapan dan kondensasi pelarut dalam satu sistem tertutup [3]. Pelarut dipanaskan hingga menguap, lalu dialirkan menuju kondensor untuk didinginkan sehingga kembali menjadi cairan dan menetes ke ruang ekstraksi yang berisi sampel. Cairan pelarut akan melarutkan senyawa target dari sampel, kemudian secara otomatis kembali ke labu pemanas setelah mencapai volume tertentu melalui sifon, dan siklus ini berulang hingga ekstraksi selesai [4]. Teknik ini memungkinkan penggunaan pelarut yang relatif sedikit, menjaga konsentrasi ekstrak, serta meningkatkan efisiensi proses dibandingkan metode perendaman sederhana seperti maserasi [5].

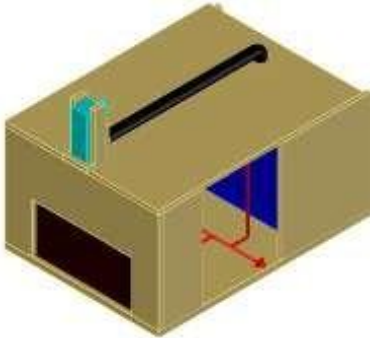
Berbagai sistem pendingin telah digunakan, seperti Heat Exchanger (HX), Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU), dan modul termoelektrik (Peltier). Heat Exchanger (HX) adalah perangkat penukar panas yang memindahkan energi panas dari satu fluida ke fluida lain melalui permukaan pemisah tanpa mencampurkan keduanya [6]. SRKU mampu menghasilkan pendinginan ekstrem namun mahal dan rumit perawatannya, sedangkan Peltier ringkas tetapi memiliki efisiensi termal rendah [9]. Begitupun dengan modul peltier berbasis efek termoelektrik yang menghasilkan perbedaan suhu ketika dialiri arus listrik [10]. Namun hanya HX yang mampu menawarkan desain sederhana, konsumsi daya rendah, dan perawatan minimal, sehingga potensial untuk diterapkan pada skala laboratorium [8].

Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sistem pendingin kondensor Soxhlet berbasis HX yang hemat energi, stabil, dan mudah dirawat [7]. Kinerja sistem dianalisis melalui parameter efektivitas pendinginan, Coefficient of Performance (COP), dan Specific Energy Consumption (SEC) [11]. Kemudahan perawatan sistem juga dibutuhkan agar menjaga kinerja sistem dan mencegah biaya operasional dalam jangka panjang. Batasan penelitian meliputi pengujian pada laju aliran 2–2,75 LPM menggunakan pelarut etanol 70% dan fokus pada proses kondensasi, tanpa membahas karakterisasi hasil ekstrak.

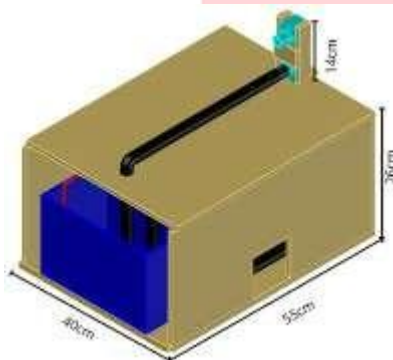
II. KAJIAN TEORI

Heat Exchanger yang digunakan dalam penelitian ini merupakan prototipe hasil perancangan mandiri yang dikembangkan dengan mempertimbangkan berbagai aspek penting untuk memastikan kinerja optimal dan keberlanjutan penggunaan. Aspek yang menjadi fokus utama meliputi efektivitas pendinginan, yaitu kemampuan sistem dalam menurunkan suhu fluida secara konsisten dan stabil; biaya awal dan biaya operasional, yang mencakup efisiensi dalam pemilihan komponen agar investasi awal terjangkau serta biaya listrik dan perawatan harian tetap rendah; kompatibilitas sistem, sehingga perangkat dapat dengan mudah diintegrasikan dengan peralatan ekstraksi Soxhlet tanpa memerlukan modifikasi besar; kemudahan perawatan, yang menekankan desain modular agar pembersihan, penggantian komponen, dan perbaikan supaya dapat dilakukan secara cepat; serta range of cooling, yaitu kemampuan sistem untuk beroperasi pada berbagai rentang suhu sesuai kebutuhan pengujian di laboratorium. Proses perancangan dilakukan dengan memilih dan menguji setiap komponen secara terpisah, seperti radiator, kipas pendingin, pompa sirkulasi, tangki air, dan flowmeter. Untuk

memastikan kinerja masing-masing bagian memenuhi spesifikasi yang diinginkan [12]. Setelah semua komponen memenuhi kriteria, dilakukan proses integrasi menjadi satu sistem pendingin yang utuh, di mana seluruh komponen dihubungkan dalam rangkaian sirkulasi tertutup dan diuji untuk memastikan kesesuaian kerja antarbagian.



GAMBAR 1. Desain Perangkat Tampak Depan



GAMBAR 2. Desain Perangkat Tampak Belakang

Kemampuan pelepasan kalor sistem ini dapat dibuktikan secara kuantitatif melalui perhitungan menggunakan rumus $Q_{lepas} = m \cdot C \cdot \Delta T$. Dengan menggunakan data laju aliran air 2 LPM dan perbedaan suhu (ΔT) sebesar 1°C dari eksperimen, diperoleh laju pelepasan kalor sebesar 138 Watt. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang memiliki kapasitas pendinginan yang jauh melampaui kebutuhan minimal Soxhlet sebesar 80 Watt, sehingga dapat dipastikan suhu kondensasi terjaga secara stabil dan kontinu.

A. Radiator

Radiator adalah komponen utama yang berfungsi untuk melepaskan panas dari cairan pendingin ke udara di sekitarnya. Radiator ini dirancang dengan kapasitas pendinginan 50W hingga 100W untuk mendukung sistem pendinginan yang andal untuk pendinginan kondensaser ekstraksi soxhlet.



GAMBAR 3. Radiator Sistem Heat Exchanger

TABEL 1. Spesifikasi Radiator	
Dimensi (mm)	275 x 120 x 32

Diameter Luar (mm)	12,9
Diameter Dalam (mm)	9

B. Fan Cooler

Fan cooler dipasang di belakang radiator untuk meningkatkan aliran udara, sehingga mempercepat proses pelepasan panas. Kipas DC ini memiliki kecepatan putaran 2000 RPM dengan konsumsi daya kipas berkisar antara 5W hingga 15W.



GAMBAR 4. Fan Cooler Sistem Heat Exchanger

TABEL 2. Spesifikasi Fan Cooler	
Voltase (DC)	12
Volume Aliran Udara (CFM)	88
Arus (I)	0,36
Daya (W)	4,32
Kecepatan Putaran (RPM)	2000
Dimensi Ukuran (mm)	120 x 120 x 25,4

C. Pompa

Pompa bertugas mengalirkan cairan pendingin secara kontinu melalui seluruh sistem. Kapasitas aliran sebesar 1 L/min dengan konsumsi daya pompa sebesar 22W.



GAMBAR 5. Pompa Sistem Heat Exchanger

TABEL 3. Spesifikasi Pompa	
Dimensi (cm)	5 x 8 x 6,5
Tegangan (V)	12
Daya (W)	22
Laju Aliran Maksimal (L/H)	800
Suhu Sirkulasi Maksimal (°C)	100

D. Flowmeter

Flowmeter digunakan sebagai sub sistem dan pemantau aliran cairan pendingin dalam sistem. Perangkat ini dipasang di jalur setelah pompa untuk memastikan bahwa aliran tetap stabil. Flowmeter yang digunakan flowmeter tipe panel RO berupa analog, dengan kapasitas pengukuran 2 hingga 18 L/min.



GAMBAR 6. Flowmeter Sistem Heat Exchanger

TABEL 4. Spesifikasi Flowmeter

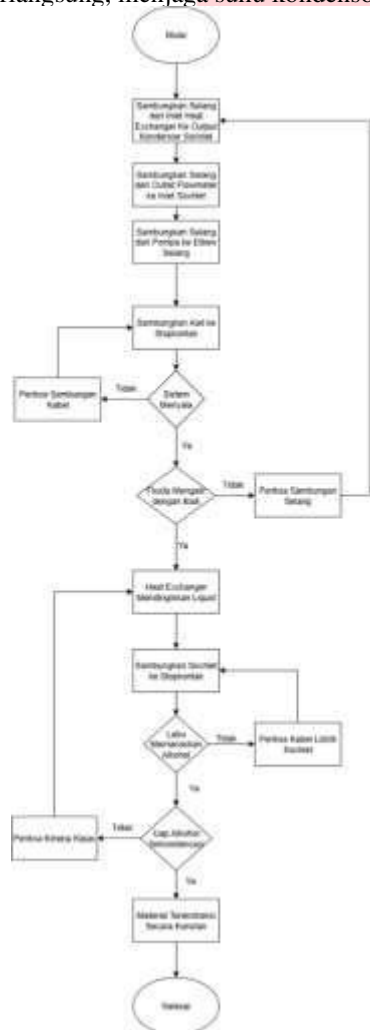
Range Pengukuran (LPM)	2 – 18
Diameter Pipa (inch)	1,5
Akurasi (%)	99

III. METODE

Proses sistem pendingin HX diawali dengan menyalakan pompa untuk mengalirkan cairan pendingin dari

tangki menuju kondensor Soxhlet. Saat cairan melewati kondensor, panas dari uap pelarut dipindahkan ke cairan pendingin sehingga uap terkondensasi menjadi cairan. Cairan

yang suhunya naik kemudian dialirkan ke radiator HX, di mana kipas membantu membuang panas ke udara melalui konveksi paksa. Suhu cairan yang telah turun dipantau menggunakan *flowmeter* untuk memastikan laju aliran sesuai pengaturan [13]. Selanjutnya, cairan kembali ke tangki penampung dan siklus berulang secara kontinu selama proses ekstraksi berlangsung, menjaga suhu kondensor tetap stabil.



GAMBAR 7. Flowchart Sistem Pendingin

A. Pengujian Sistem

Perangkat Heat Exchanger terbuat dari bahan aluminium yang dapat menghantarkan panas dan Heat Exchanger tipe fin and tube nya yang bisa membantu keefektifan pelepasan kalor. Sistem ini juga dibantu dengan kipas dan mengatur laju aliran untuk pelepasan kalor yang optimal secara kontinu. Sehingga uap alkohol dapat terkondensasi dengan baik. Sub-sistem yang bekerja pada alat ini hanya satu, yaitu dengan mengatur laju aliran agar pendinginan sistem bekerja secara maksimum. Laju aliran

diatur menyesuaikan pendinginan yang dibutuhkan dengan rentang suhu 1 – 5°C [14]. Namun dalam hal ini sistem hanya mampu mencapai rentang suhu ruangan, sehingga sistem membutuhkan valve untuk mengatur besar atau kecilnya laju aliran untuk meningkatkan efek pendinginannya seperti pada rumus laju perpindahan kalor yaitu,

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{out}) \quad (1)$$

- $\dot{m}$ = laju aliran massa (kg/s)
- c_p = kapasitas jenis kalor (J/kg.°C)
- ΔT = perbedaan suhu fluida (°C)

Persamaan (1) adalah persamaan kalor aktual dari sistem pendingin menunjukkan bahwa panas yang ditransfer per-satuan waktu ditentukan oleh laju aliran massa fluida dikalikan kapasitas kalor jenis, dan dikalikan dengan selisih suhu. Untuk menentukan nilai laju aliran massa dari nilai LPM butuh mengonversi nilai LPM menjadi laju aliran volume, kemudian gunakan persamaan kedua yaitu,

$$m = \rho \cdot v \quad (2)$$

- ρ = massa jenis fluida (kg/ m³)
- v = laju aliran volume (m³/s)

Selanjutnya efektivitas pada sistem pendingin *heat exchanger* dibutuhkan untuk mengetahui seberapa baik kinerja perpindahan panas yang terjadi antara dua fluida di dalamnya dibandingkan dengan kemampuan maksimum teoritis yang bisa dicapai. Nilai efektivitas dibutuhkan agar dapat mengevaluasi apakah sistem sudah bekerja secara efisien atau perlu dilakukan perbaikan desain atau operasi. Berikut adalah persamaannya.

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{\text{Laju Perpindahan Kalor Aktual}}{\text{Laju Maksimum Perpindahan Kalor Teoritis}} \quad (3)$$

Untuk menentukan laju perpindahan kalor maksimum yang mungkin dalam penukar panas, hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan perbedaan suhu maksimum dalam penukar panas. Berikut adalah rumus untuk menentukan nilai dari perbedaan suhu maksimum yang mungkin dilakukan oleh heat exchanger.

$$\dot{Q}_{max} = C_{min} \cdot \Delta T_{MAX} = C_{min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (4)$$

- $\dot{Q}_{max}$ = laju perpindahan kalor maksimal yang mungkin terjadi (w)
- C_{min} = kapasitas kalor jenis terkecil dari dua fluida yang terhitung (J/kg.°C)
- ΔT_{MAX} = perbedaan suhu maksimum (°C)

Perpindahan kalor dalam sebuah penukar kalor (*heat exchanger*) akan mencapai nilai maksimum ketika fluida dingin dipanaskan hingga mencapai suhu masuk fluida panas atau jika fluida panas didinginkan hingga mencapai suhu masuk fluida dingin maka laju perpindahan kalor akan mencapai nilai maksimum. Namun, pada kedua kondisi batas ini tidak akan tercapai secara bersamaan kecuali jika laju kapasitas kalor dari fluida panas dan fluida dingin identik, yaitu $C_c = C_h$. Sehingga ketika $C_c \neq C_h$, atau dalam kebanyakan kasus, fluida yang memiliki laju kapasitas kalor

lebih kecil akan mengalami perubahan suhu yang lebih besar, maka fluida tersebut akan menjadi fluida pertama yang mencapai suhu maksimum yang mungkin sampai perpindahan kalor akan berhenti terjadi antar fluida [15].

$$\Delta T_{MAX} = T_{h,in} - T_{c,in} \quad (5)$$

Specific Energy Consumption digunakan untuk mengukur energi yang digunakan dalam sistem ini adalah energi listrik yang dikonsumsi sistem per satuan volume fluida yang diproses. *Specific Energy Consumption* dapat dihitung dengan persamaan:

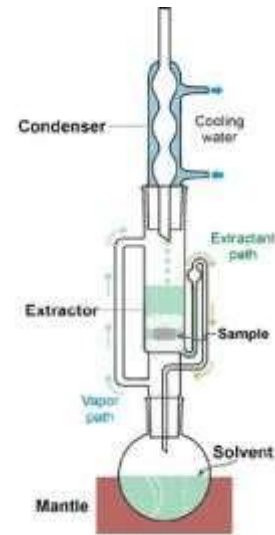
$$SEC = \frac{\text{Energi yang digunakan}}{\text{Jumlah Produk}} = \frac{E}{V} \quad (6)$$

Dimana V adalah energi listrik dalam satuan kWh dan V adalah volume fluida yang dihasilkan (produk) dalam liter. Selanjutnya ada biaya listrik per-liter merupakan parameter ekonomi yang menghubungkan konsumsi energi dengan biaya operasional sistem [16]. Nilai ini dihitung berdasarkan tarif listrik yang berlaku dikalikan dengan *specific energy consumption*. Untuk tarif listrik yang digunakan pada skala laboratorium adalah Rp 1.669,53/kWh.

$$\text{Biaya Listrik Sistem} = \text{Tarif Listrik} \cdot SEC \quad (7)$$

B. Ekstraksi Soxhlet

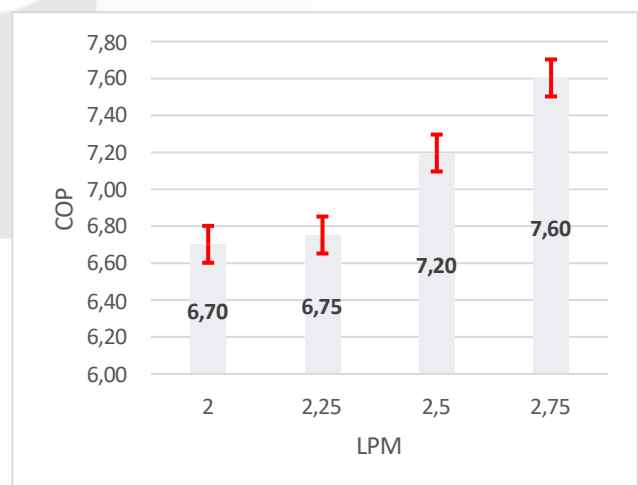
Soxhlet terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu kondensor yang berfungsi sebagai tempat pengembunan uap pelarut, timbal sebagai wadah bahan atau sampel yang diekstraksi, pipa F untuk mengalirkan uap ke kondensor, sifon untuk mengembalikan pelarut dari timbal ke labu alas bulat ketika larutan penuh (satu siklus), labu alas bulat sebagai wadah pelarut dan hasil ekstraksi, serta mantel pemanas untuk memanaskan pelarut di labu alas bulat. Pada proses ekstraksi Soxhlet, pelarut di labu pemanas diuapkan, dikondensasi di kondensor yang didinginkan sistem pendingin, lalu menetes ke timbal; ketika larutan dalam timbal mencapai puncak tabung sifon, cairan kembali ke labu pemanas hingga habis, dan siklus dimulai kembali [17]. Pengujian dilakukan dengan mengukur suhu inlet dan outlet heat exchanger menggunakan termokopel dan thermaflex, suhu udara di depan dan belakang kipas radiator, laju aliran air pendingin menggunakan flowmeter, serta kecepatan udara di sekitar kipas dengan anemometer (diukur sekali pada awal pengujian). Konsumsi daya listrik seluruh sistem, termasuk kipas dan pompa sirkulasi, diukur dengan wattmeter untuk menghitung *specific energy consumption* [18]. Skema pengujian ini memberikan gambaran performa heat exchanger dalam menurunkan suhu kondensor dan efisiensi energi selama proses ekstraksi Soxhlet secara kontinu.



GAMBAR 8. Detail Perangkat Ekstraktor Soxhlet

C. Uji Performansi Sistem

Pengujian performansi sistem pendingin menggunakan *Coefficient of Performance* (COP) diawali pada tahap pra-implementasi dengan menggunakan *water heater* sebagai sumber panas buatan. Tahap ini dilakukan untuk mensimulasikan kondisi kerja sistem pendingin tanpa harus langsung mengintegrasikannya dengan Soxhlet, sehingga memungkinkan evaluasi awal kinerja komponen. *Water heater* diposisikan sebagai pemanas fluida uji dan diatur untuk menghasilkan panas konstan sesuai kebutuhan beban pendinginan [19]. Sistem pendingin berbasis *Heat Exchanger* kemudian dijalankan pada empat variasi laju aliran pendingin, yaitu 2,00; 2,25; 2,50; dan 2,75 LPM. Data yang diukur meliputi suhu masuk dan keluar kondensor, laju aliran massa cairan pendingin, serta konsumsi daya listrik kipas radiator dan pompa sirkulasi. Perhitungan COP dilakukan dengan membandingkan kapasitas pendinginan yang dihasilkan (dalam watt) dengan total daya listrik yang digunakan sistem, dengan daya maksimum yang disesuaikan dengan kemampuan keluaran labu pemanas Soxhlet tertinggi yaitu sebesar 150 Watt.



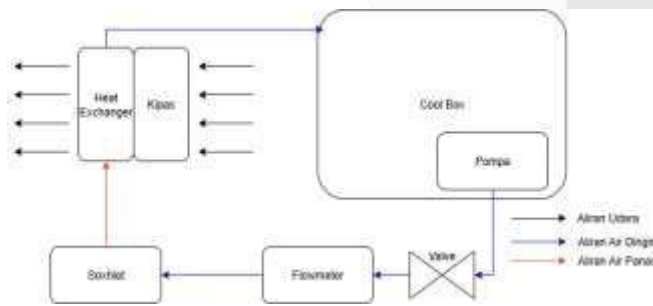
GAMBAR 9. Grafik Perbandingan *Coefficient of Performance* Pada 4 Titik Teruji

Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan nilai COP seiring dengan bertambahnya laju aliran pendingin. Pada laju aliran 2 LPM, COP tercatat pada nilai

terendah karena perpindahan panas yang lebih kecil akibat volume fluida yang terbatas, meskipun perbedaan suhu (ΔT) relatif tinggi. Sebaliknya, pada laju aliran 2,75 LPM, COP mencapai nilai tertinggi karena perpindahan panas meningkat signifikan akibat volume fluida yang lebih besar, meskipun ΔT sedikit menurun. Tren ini menandakan bahwa laju aliran yang lebih tinggi dapat meningkatkan efisiensi pemindahan panas sistem pendingin, sehingga energi listrik yang digunakan lebih efektif dalam menghasilkan pendinginan. Temuan ini memperkuat rekomendasi penggunaan laju aliran optimal yang memaksimalkan COP untuk aplikasi pendinginan pada ekstraktor Soxhlet di lingkungan laboratorium.

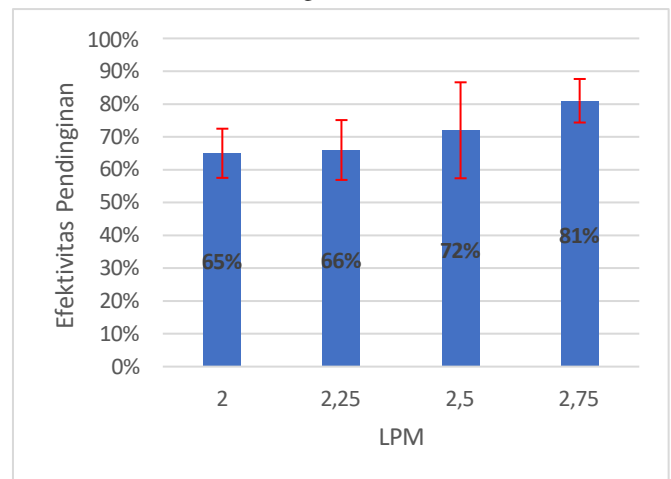
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pendingin berbasis *Heat Exchanger* dan ekstraktor Soxhlet dipastikan telah berfungsi optimal serta terintegrasi dengan sempurna sebelum diberikan daya listrik secara simultan pada kedua sistem, yakni pendingin dan elemen pemanas labu Soxhlet. Elemen pemanas diatur menghasilkan daya sebesar 80 Watt, sementara laju aliran massa cairan pendingin diatur menggunakan katup (valve) pada empat variasi debit, yaitu 2,00; 2,25; 2,50; dan 2,75 liter per-menit (LPM). Sensor termokopel ditempatkan pada inlet dan outlet *Heat Exchanger* untuk memantau suhu cairan pendingin, serta pada bagian depan dan belakang kipas radiator untuk mengukur suhu udara yang melintas, sedangkan wattmeter digunakan untuk merekam konsumsi daya listrik sistem pendingin secara keseluruhan. Seluruh parameter suhu dan daya listrik dicatat setiap satu menit selama satu siklus pengosongan timbal, dimulai sejak fluida di dalam timbal mencapai puncak siphon dan mengalir ke labu pemanas hingga aliran berhenti. Laju aliran massa cairan pendingin diukur dengan flowmeter yang terintegrasi sebagai sub-sistem pada *Heat Exchanger*, sementara kecepatan udara kipas diukur menggunakan anemometer satu kali pada awal pengujian karena nilainya stabil sepanjang operasi [20]. Prosedur ini diulang untuk setiap variasi debit aliran pendingin, sehingga data yang terkumpul dapat merepresentasikan kondisi operasi nyata sistem pendingin Soxhlet pada berbagai laju aliran air.



GAMBAR 10. Aliran Fluida Sistem Pendingin

A. Efektivitas Pendingin

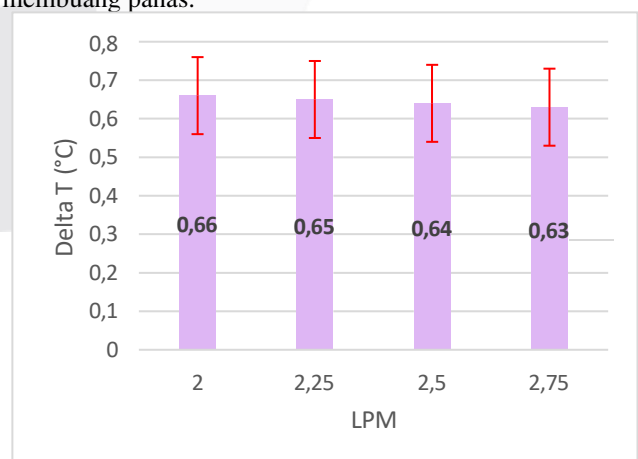


GAMBAR 11. Grafik Efektivitas Pendinginan

Dari grafik efektivitas pendinginan, terlihat adanya korelasi positif yang kuat antara peningkatan laju aliran air (flowrate) dan efektivitas sistem pendingin. Pada flowrate terendah yaitu 2 LPM, efektivitas pendinginan hanya mencapai 65%, menunjukkan kemampuan transfer panas yang masih terbatas. Namun, seiring dengan peningkatan flowrate hingga 2,75 LPM, efektivitas sistem meningkat signifikan mencapai 81%. Kenaikan substansial ini mengindikasikan bahwa sistem *Heat Exchanger* mampu bekerja lebih optimal pada debit aliran pendingin yang lebih tinggi, karena peningkatan aliran massa fluida secara efektif menyerap dan membuang panas dari kondensor, sehingga mempercepat proses kondensasi pelarut.

B. Selisih Suhu

Perbedaan suhu antara inlet dan outlet *Heat Exchanger*, atau ΔT , merupakan parameter penting yang menunjukkan jumlah panas yang diserap oleh fluida pendingin. ΔT yang lebih besar menunjukkan transfer panas yang lebih signifikan pada sistem. Pengukuran ini dilakukan untuk setiap variasi flowrate guna melihat pengaruh laju aliran terhadap kemampuan sistem dalam menyerap dan membuang panas.

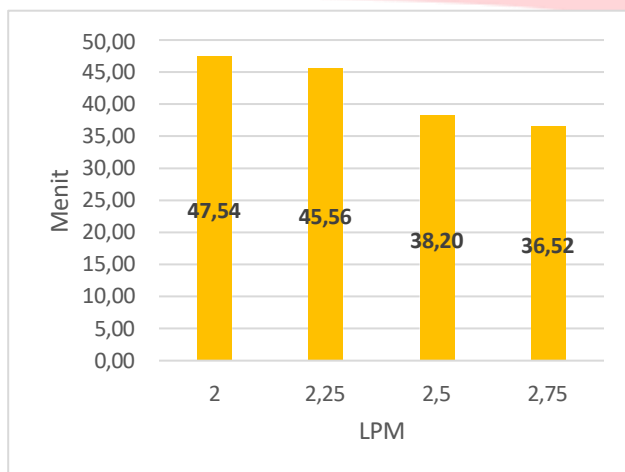


GAMBAR 12. Grafik Perbedaan Suhu

Penurunan nilai ΔT yang terlihat pada grafik seiring dengan meningkatnya laju aliran massa cairan pendingin dari 0,66°C pada 2 LPM menjadi 0,63°C pada 2,75 LPM. Saat laju aliran fluida bertambah, fluida bergerak lebih cepat

melewati permukaan *Heat Exchanger*, sehingga waktu kontak antara fluida dan media perpindahan panas menjadi lebih singkat. Kondisi ini menyebabkan jumlah panas yang dapat ditransfer per satuan massa fluida cenderung menurun, karena tidak semua energi panas dari kondensor dapat terserap secara maksimal dalam waktu yang terbatas tersebut. Dengan demikian, terdapat hubungan berbanding terbalik antara laju aliran massa dan perbedaan suhu (ΔT) pada sistem ini: semakin tinggi laju aliran, semakin kecil nilai ΔT antara inlet dan outlet *Heat Exchanger*. Meskipun demikian, total massa fluida yang mengalir meningkat, sehingga meskipun ΔT per satuan massa menurun, jumlah total energi yang dibawa oleh fluida secara keseluruhan tetap bertambah. Grafik juga menunjukkan adanya batang error (error bar) yang mengindikasikan variasi pengukuran atau ketidakpastian instrumen, namun pola penurunan ΔT tetap konsisten di berbagai variasi laju aliran yang diuji. Oleh karena itu, walaupun ΔT menurun, efektivitas sistem secara keseluruhan tetap meningkat karena peningkatan laju massa fluida meningkatkan total perpindahan panas yang terjadi.

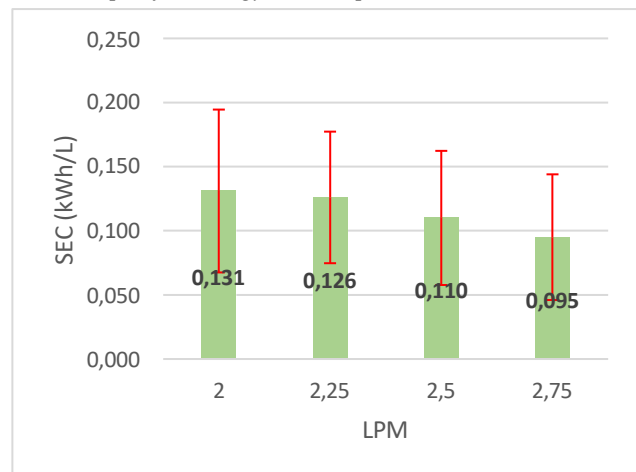
C. Waktu Satu Siklus Soxhlet



GAMBAR 13. Grafik Waktu 1 Siklus

Waktu satu siklus ini merepresentasikan kecepatan proses kondensasi dan aliran fluida dalam sistem Soxhlet yang didinginkan oleh radiator. Pada grafik waktu satu siklus pengosongan timbal menunjukkan tren menurun yang signifikan seiring peningkatan LPM. Pada 2 LPM, waktu satu siklus mencapai 46,54 menit, sedangkan pada 2,75 LPM waktu menurun drastis menjadi 36,52 menit. Penurunan durasi siklus ini mengkonfirmasi bahwa peningkatan laju aliran air dari rentang 2 LPM – 2,75 LPM mempercepat proses kondensasi pelarut pada kondensor Soxhlet, yang secara fundamental mempercepat durasi siklus ekstraksi secara keseluruhan. Implikasi dari temuan ini sangat penting, karena menunjukkan potensi peningkatan efisiensi waktu penggunaan alat di laboratorium.

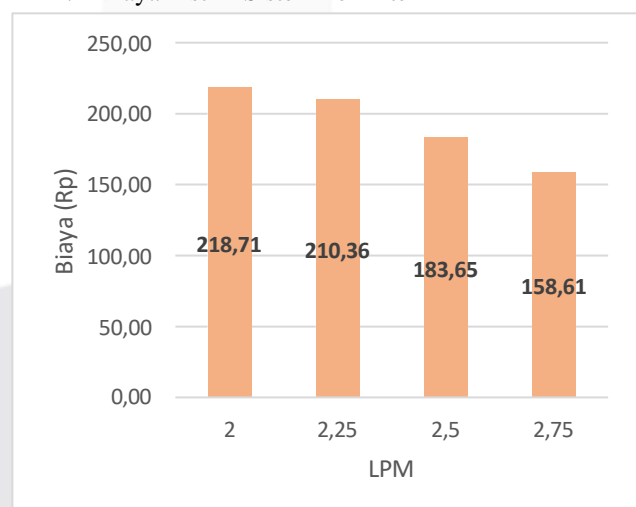
D. Specific Energy Consumption



GAMBAR 14. Grafik Specific Energy Consumption

Grafik *Specific Energy Consumption* (SEC). Terlihat adanya penurunan nilai SEC dari 0,131 kWh/L pada 2 LPM menjadi 0,095 kWh/L pada 2,75 LPM. Penurunan SEC ini mengindikasikan bahwa penggunaan energi sistem per satuan volume cairan yang diproses menjadi lebih efisien ketika aliran pendingin ditingkatkan. Efisiensi ini merupakan hasil kumulatif dari dua faktor utama: efektivitas pendinginan yang lebih tinggi yang mengurangi beban kerja sistem per unit panas yang dihilangkan, serta waktu operasi per siklus yang lebih singkat. Dengan sistem bekerja lebih cepat dan efektif, energi total yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus ekstraksi menjadi lebih sedikit.

E. Biaya Listrik Sistem Per-Liter



GAMBAR 15. Grafik Biaya Listrik Sistem

Dampak langsung dan positif dari penurunan nilai SEC terlihat jelas pada grafik biaya listrik sistem per liter. Biaya listrik tertinggi tercatat pada flowrate 2 LPM, yaitu sebesar Rp218,71 per liter, sedangkan pada 2,75 LPM biaya tersebut turun drastis menjadi Rp158,61 per liter. Hal ini secara konkret menunjukkan bahwa dari perspektif operasional dan ekonomi, penggunaan flowrate yang lebih tinggi tidak hanya meningkatkan performa termal sistem, tetapi juga dapat menghasilkan penghematan biaya listrik yang signifikan.

V. KESIMPULAN

Pengujian yang dilakukan di laboratorium bertujuan mengevaluasi efektivitas pendinginan, *Specific Energy Consumption* (SEC), dan *Coefficient of Performance* (COP) sistem pada variasi laju aliran massa volume pendingin sebesar 2,00; 2,25; 2,50; dan 2,75 LPM. Hasilnya menunjukkan bahwa efektivitas pendinginan meningkat seiring kenaikan laju aliran, dari 65% pada 2 LPM menjadi 81% pada 2,75 LPM, dengan sedikit penurunan selisih suhu (ΔT) namun tetap disertai peningkatan total perpindahan panas karena volume fluida yang lebih besar. Waktu satu siklus kondensasi Soxhlet berkurang dari 48,56 menit menjadi 36,52 menit, menandakan proses kondensasi yang lebih cepat. Selain itu, SEC menurun dari 0,131 kWh/L menjadi 0,095 kWh/L, yang berdampak pada penurunan biaya listrik per liter dari Rp218,71 menjadi Rp158,61. Secara keseluruhan, laju aliran 2,75 LPM memberikan hasil terbaik dari empat variasi yang diuji, dengan tren peningkatan kinerja yang konsisten pada parameter efektivitas pendinginan, efisiensi energi, dan biaya operasional, sehingga menjadi dasar penting dalam pengembangan dan pengoperasian sistem pendingin berbasis *Heat Exchanger* pada ekstraktor Soxhlet untuk aplikasi laboratorium.

REFERENSI

- [1] Dewa Gede Eka Prayoga, Komang Ayu Nocianitri, Ni Nyoman Puspawati, "IDENTIFIKASI SENYAWA FITOKIMIA DAN AKTIVITAS ANTIOKSIDAN EKSTRAK KASAR DAUN PEPE (*Gynema reticulatum* Br.) PADA BERBAGAI JENIS PELARUT," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, vol. 8, no. 2, pp. 111-121, 2019.
- [2] Annisa Rahma Aryanti, Made Helen Susanti, Anjar Hermadi Saputro, Herayati, Indah Puspita Sari, & Syahjoko Saputra, "A Comparative Study of Maceration, Soxhlet Extraction, and Sonication Methods on the Yield of Turmeric Rhizome (*Curcuma longa* L.) Extracts," *Journal Of Chemistry Sciences and Education*, vol. 2, no. 1, pp. 1-9, 2025.
- [3] M. A. FEBRYANTO, "Studi Ekstraksi dengan Metode Soxhletasi pada Bahan Organik Umbi Sarang Semut (*Myrmecodia pendans*) sebagai Inhibitor Organik," *Tugas Akhir*, vol. 1, no. 1, pp. 1-155, 2017.
- [4] G. S. Bio, "Essential Tools for Success: A Comprehensive List of Soxhlet Extraction Equipment," *Greensky Biological Tech*, Hangzhou, 2024.
- [5] Chemo, "BEGINNERS GUIDE TO SOXHLET EXTRACTIONS," in *Soxhlet Extraction Guide: Beginners to Advanced Techniques*, Chemo, Anabolicminds, 2003, pp. 1-4.
- [6] Andi Prasetyo, Arif Surono, "Studi Eksperimental Pergerakan Temperatur Radiator Terhadap Putaran Mesin (Rpm)," *Jurnal Creative Research in Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 33-39, 2021.
- [7] Ali Sadeghianjahromi, Chi-Chuan Wang, "Heat transfer enhancement in fin-and-tube heat exchangers – A review on different mechanisms," in *Renewable and Sustain Energy Reviews*, vol. 137, 110470, Elsevier, 2021, pp. -.
- [8] Tianwei Wang, Amit Jagarwal, John R. Wagner, Georges Fadel, "Optimization of an automotive radiator fan array operation to reduce power consumption," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 20, no. 5, pp. 2359-2369, 2015.
- [9] Mula Tumpu, M. Zaki Latif Abrori, Dendi Haris, Pengoperasian dan Perawatan Mesin Refrigerasi Kompresi Uap, Nusa Tenggara Barat: Pusat Pengembangan Pendidikan dan Penelitian Indonesia, 2023.
- [10] Mirmanto, Syahrul, Made Wirawan, "Effect of a Heat Exchanger on COP of a Thermoelectric Cooler Powered by Solar Panels," *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, vol. 79, no. 1, pp. 1-8, 2021.
- [11] A. Maulana, "Pengaruh Jumlah Lilitan Pipa Kapiler Terhadap Coeficient Of Performance (COP) Sistem Pendingin Ac Mobil," *Jurnal Ilmu Mahasiswa Teknik*, vol. 4, no. 3, pp. 195-205, 2024.
- [12] E. Hartini, "Strategi Pemeliharaan Komponen pada Sistem Pendingin RSG- GAS Berdasarkan Estimasi Interval Waktu Perawatan," *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, vol. 20, no. 2, p. 69, 2018.
- [13] Rismiyati, Adinda StriantiOktari, Annisa Nurrahman, Baiq Mekia Rahmayanti, NovitaAulia, Anggit Sunarwidhi, "Review: Metode-Metode Ekstraksi," *Sci-Tech Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 17-28, 2025.
- [14] Jiahao Zhao, Zihao Luo, Yifei Zhang, Abubakar Unguwanrimi Yakubu, Xuanhong Ye, Qi Jiang, Shusheng Xiong, Chenbo Xia, "Performance Investigation of a Cabin Thermal Management System

for Electric Vehicles Based on R290 Refrigerant," *International Journal of Energy Research*, vol. 2025, no. 1, pp. 1-20, 2025.

- [15] Y. A. Cengel, "Heat Transfer; a Practical Approach," 2nd edition ed., p. 690.
- [16] P. T. M. A. M. K. Akvile Lawrance, "Specific Energy Consumption/Use (SEC) in Energy Management for Improving Energy Efficiency in Industry: Meaning, Usage and Differences," *ENERGIES*, vol. Vol 1, no. Issue 1, pp. 4-5, 2019.
- [17] Olly Norita Tetra, Hermansyah Aziz, Emriadi, Sanusi Ibrahim, Admin Alif, "SUPERKAPASITOR BERBAHAN DASAR KARBON AKTIF DAN LARUTAN IONIK SEBAGAI ELEKTROLIT," *Jurnal Zarah*, vol. 6, no. 1, pp. 39-46, 2018.
- [18] A. Putra, "Rancang Bangun Kendali Suhu dan Tekanan pada Ekstraksi Soxhlet Berbasis Mikrokontroler ATmega16," *Electric Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 1-60, 2012.
- [19] Mirmanto, Syahrul, Made Wirawan, "Effect of a Heat Exchanger on COP of a Thermoelectric Cooler Powered by Solar Panels," *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, vol. 79, no. 1, pp. 1-8, 2021.
- [20] A. Sanchez-Sanchez, Maria Teresa Izquierdo, Jaafar Ghanbaja, Ghouti Medjahdi, Sandrine Mathieu, Alain Celzard, Vanessa Fierro, "Excellent electrochemical performances of nanocast ordered mesoporous carbons based on tannin-related polyphenols as supercapacitor electrodes," *Journal of Power Sources*, vol. 334, no. 1, pp. 15-24, 2017.