

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Metode ekstraksi senyawa aktif dari biomassa merupakan langkah penting dalam pemanfaatan sumber daya hayati, khususnya untuk memperoleh senyawa fitokimia yang memiliki banyak manfaat. Senyawa ini banyak digunakan dalam bidang kimia material, farmasi, dan pengembangan energi terbarukan [1]. Bahan alami seperti kulit buah, daun-daunan, dan limbah pertanian menjadi sumber utama dalam proses ekstraksi tersebut. Untuk mengekstraksi senyawa ini, salah satu metode yang dikenal secara konvensional adalah metode maserasi.

Maserasi adalah proses perendaman bahan ekstrak dalam pelarut pada suhu ruang selama periode waktu tertentu [2]. Metode ini masih terbilang sederhana karena waktu ekstraksi yang panjang, efisiensi rendah, dan tidak berlangsung secara kontinu. Keterbatasan inilah yang kemudian mendorong pengembangan metode yang lebih efektif, salah satunya adalah metode ekstraksi soxhlet.

Metode ekstraksi Soxhlet bekerja secara kontinu dan efisien dengan prinsip menguapkan pelarut yang kemudian dikondensasikan kembali menjadi cairan, lalu menetes ke bahan ekstrak secara berulang dalam satu siklus tertutup [3]. Dengan cara ini, ekstraksi berlangsung terus-menerus tanpa perlu mengganti pelarut, menghasilkan konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi dan proses yang lebih terkendali dibanding maserasi.

Dalam sistem soxhlet, kondensor menjadi salah satu komponen utama yang menentukan keberhasilan proses [4]. Uap pelarut yang dihasilkan dari pemanasan harus dikondensasikan kembali secara optimal agar dapat menetes ke bahan ekstrak. Jika proses kondensasi terganggu, maka siklus ekstraksi akan berhenti dan tekanan dalam sistem bisa meningkat, yang berpotensi merusak alat, dikarenakan bahan materialnya yang terbuat dari kaca.

Untuk menjaga kinerja kondensor, sistem pendingin biasanya menggunakan air es. Namun, metode ini memiliki kekurangan karena es harus diganti secara berkala dan tidak cocok untuk ekstraksi berdurasi panjang. Oleh karena itu, diperlukan sistem

pendingin terintegrasi yang mampu bekerja secara stabil, efisien, dan kontinu. Sistem pendingin yang dirancang harus memiliki efisiensi energi yang baik, desain yang ringkas, mudah dirawat, dan memiliki biaya operasional rendah. Perancangan sistem pendingin yang tepat menjadi kunci untuk menunjang efektivitas dan keberlanjutan proses ekstraksi soxhlet secara keseluruhan [5].

1.2 Informasi Pendukung Masalah

Sistem ekstraksi Soxhlet memerlukan sistem pendingin yang mampu mengkondensasikan uap alkohol menjadi fasa cair di bawah titik embunnya. Fluida yang digunakan dalam proses ini adalah etanol dengan konsentrasi 70%, yang memiliki titik embun sekitar 78°C. *Stakeholder* menetapkan spesifikasi bahwa sistem pendingin yang dirancang diharapkan menjaga mengkondensasikan uap alkohol secara kontinu dan hemat energi agar dapat mendukung efisiensi operasional secara keseluruhan. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, terdapat beberapa opsi sistem pendingin yang dapat dipertimbangkan, seperti:

1. *Heat Exchanger* (HX)

Heat Exchanger atau yang biasa dikenal dengan penukar kalor. Seperti Namanya prinsip kerja dari sistem pendingin HX menggunakan prinsip perpindahan panas dari fluida bersuhu tinggi ke fluida bersuhu rendah dengan permukaan yang terpisah. Sistem ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu radiator dan kipas. Radiator memiliki sirkulasi cairan yang terpisah, di mana bagian atas (*upper tank*) menerima cairan bersuhu tinggi, lalu cairan ini mengalir melalui sistem hingga mencapai bagian bawah (*lower tank*), di mana cairan tersebut mentransferkan panasnya ke fluida yang lebih dingin [6].



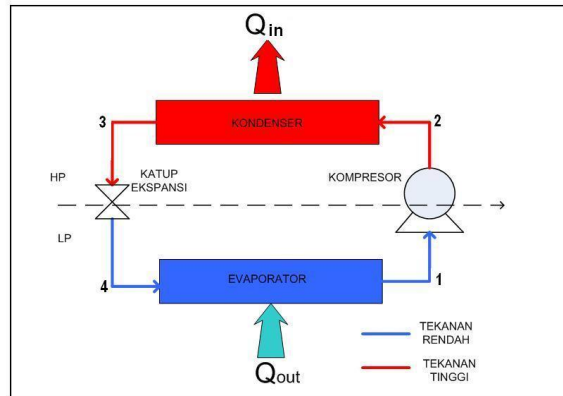
Gambar 1.2.1 Cara Kerja Radiator

Tipe HX pada gambar adalah radiator tipe fin and tube radiator dengan pola aliran *crossflow*. Cairan pendingin mengalir secara tegak lurus terhadap aliran udara. Aliran air yang melalui tube (pipa) dirancang agar mengalami turbulensi sehingga memaksimalkan perpindahan kalor dari cairan ke permukaan pipa. Kalor akan berpindah melalui fin (sirip) yang terdapat di sepanjang tube dan dilepaskan ke udara menggunakan kipas dengan proses konveksi paksa. Desain fin yang rapat dan luas permukaan yang tinggi meningkatkan efektivitas termal dari system. Semakin banyak dan rapat fin maka semakin efektif pula proses pendinginan [7]. Sistem pendingin biasa mengkonsumsi daya yang tinggi [8], karena HX hanya kipas yang menggunakan daya listrik, maka daya yang digunakan pun sangat minim.

2. Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU)

Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU) adalah sistem pendingin yang menggunakan kompresor untuk memindahkan panas dari satu tempat ke tempat lain. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Pada SRKU, kompresor berfungsi untuk meningkatkan tekanan dan suhu refrigeran (zat pendingin), yang kemudian dipompa ke kondensor. Di kondensor, refrigeran yang masih panas akan melepaskan panasnya ke udara sekitar dan berubah menjadi cairan.

Setelah refrigeran melewati kondensor, ia akan menuju katup ekspansi, di mana tekanan refrigeran diturunkan, menyebabkan suhu refrigeran menurun. Cairan refrigeran bertekanan rendah kemudian masuk ke evaporator, di evaporator air akan ditaruh bersamaan dengan evaporator untuk pendinginan. Proses ini terus berulang, dengan kompresor mengembalikan refrigeran dalam bentuk gas kembali ke sistem untuk diproses lagi. SRKU sangat efektif untuk pendinginan yang cukup ekstrim dengan menyesuaikan kebutuhan suhu yang diinginkan. Akan tetapi daya yang digunakan sangat besar, perawatan yang cukup rumit dan biaya operasional yang cukup tinggi [9].



Gambar 1.2.2 Cara Kerja Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

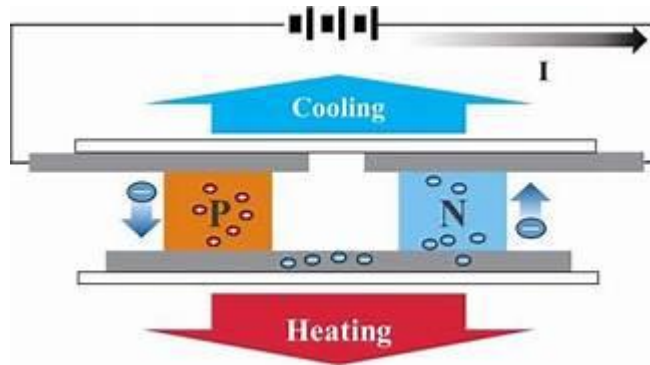
3. Termoelektrik (Peltier)

Termoelektrik atau Peltier adalah sistem pendinginan yang bekerja berdasarkan prinsip efek termoelektrik, yaitu fenomena di mana perbedaan suhu antara dua bahan yang berbeda dapat menghasilkan perbedaan tegangan listrik. Sistem ini menggunakan modul termoelektrik, yang terdiri dari dua bahan semikonduktor yang berbeda tipe (n-type dan p-type), yang dihubungkan secara seri atau paralel. Ketika arus listrik dialirkan melalui modul termoelektrik, satu sisi modul akan menyerap panas dan terjadi pendinginan, sementara sisi lainnya akan melepaskan panas dan terjadi pemanasan [10].

Pada modul termoelektrik, Peltier effect adalah fenomena utama yang digunakan untuk pendinginan, di mana pemindahan panas terjadi ketika arus listrik mengalir melalui sambungan dua bahan semikonduktor berbeda. Sebaliknya, Seebeck effect adalah fenomena yang menghasilkan tegangan listrik dari perbedaan suhu antara dua titik bahan termoelektrik. Sistem termoelektrik memiliki keuntungan utama, yaitu tidak memerlukan bagian bergerak, sehingga lebih tahan lama dan minim perawatan [10].

Namun, termoelektrik memiliki nilai COP yang sangat rendah, dan pendinginan nya terlalu ekstrem. Hal ini membuat sistem termoelektrik kurang efisien dalam pendinginan soxhlet dikhawatirkan dapat membuat kaca pecah dan cairan membeku. Meskipun demikian, pendinginan yang besar dapat dikontrol menggunakan thermostat agar suhu yang diinginkan menyesuaikan kebutuhan

pendinginan. Dari segi perawatan dan biaya operasional pun, sistem termoelektrik masih terbilang cukup murah dan lebih sederhana.



Gambar 1.2.3 Cara Kerja Peltier

1.3 Analisis Umum

Untuk memilih solusi terbaik dengan masalah yang ada, perlu dilakukan analisis dari berbagai aspek:

1.3.1 Aspek Ekonomi

Kendala ekonomi sering kali menjadi tantangan dalam pelaksanaan penelitian. Meskipun aspek ekonomi merupakan komponen penting yang mencakup pengadaan alat dan biaya operasional penelitian, biaya yang dikeluarkan selama proses sistem, terutama untuk penelitian yang melibatkan sistem pendingin cenderung tidak sedikit. Hal ini disebabkan oleh besarnya biaya operasional yang umumnya terkait dengan sistem pendingin. Melalui analisis aspek ekonomi, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tiga solusi sistem pendingin, yaitu Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU), *Heat Exchanger* (HX), dan Termoelektrik (Peltier), untuk menentukan mana yang paling efisien dan ekonomis.

1.3.2 Aspek Manufakturabilitas

Sistem Soxhlet memerlukan pendinginan yang andal dan konsisten untuk mendukung proses kondensasi uap alkohol. Dalam aspek manufakturabilitas, sistem pendingin yang dirancang harus mempertimbangkan efisiensi produksi, pemilihan material yang tahan lama dan tersedia secara lokal, serta kemudahan dalam perakitan dan pemeliharaan. Desain komponen yang sederhana dan modular akan memudahkan proses produksi dan penggantian suku cadang jika diperlukan. Selain itu, perhatian diberikan pada kompatibilitas sistem dengan material kaca Soxhlet untuk mencegah risiko

kerusakan selama penggunaan. Pendekatan ini memastikan sistem pendingin dapat diproduksi dan dioperasikan secara efisien tanpa mengurangi kualitas kinerja [3].

1.3.3 Aspek Efisiensi Energi

Efisiensi energi merupakan aspek penting yang perlu dianalisis dalam sistem pendingin Soxhlet untuk memastikan penggunaan energi yang optimal dalam mengkondensasikan uap alkohol secara konsisten. Efisiensi energi mengacu pada rasio antara energi yang digunakan untuk menghasilkan efek pendinginan (output) dengan total energi listrik yang dikonsumsi oleh sistem (input). Sistem pendingin dengan efisiensi tinggi mampu menghasilkan kapasitas pendinginan maksimal dengan konsumsi daya yang rendah, sehingga mengurangi biaya operasional dan mendukung keberlanjutan energi dengan meminimalkan pemborosan daya. Parameter seperti *Coefficient of Performance* (COP) sering digunakan untuk mengukur efisiensi ini, di mana rasio output pendinginan terhadap konsumsi energi menjadi indikator utama. Dengan memahami efisiensi energi, sistem pendingin yang paling sesuai dapat dipilih untuk mendukung operasi Soxhlet secara optimal sekaligus mengurangi dampak lingkungan akibat konsumsi energi yang berlebihan [11].

1.3.4 Aspek Perawatan

Perawatan yang tepat dalam menjaga kinerja sistem pendingin pada Soxhlet agar tetap optimal sepanjang masa pakainya perlu diperhatikan. Sistem pendingin yang dirawat dengan baik tidak hanya mencegah kerusakan yang dapat menghentikan proses ekstraksi, tetapi juga memperpanjang umur dan keandalan alat serta mengurangi biaya operasional jangka panjang [12]. Sistem pendingin yang dirancang untuk memudahkan pemeliharaan akan mengurangi waktu henti alat, sehingga proses ekstraksi dapat berjalan lebih lancar tanpa gangguan. Dengan memperhatikan aspek perawatan, alat Soxhlet tidak hanya berfungsi dengan baik, tetapi juga tetap efisien dan tahan lama.

1.4 Batasan Masalah

Berikut adalah batasan masalah sistem pendingin soxhlet menggunakan penukar kalor atau *Heat Exchanger* agar pembahasan tidak meluas dan fokus pada proses sistem pendingin soxhlet:

1. Penelitian tidak membahas karakterisasi hasil senyawa fitokimia yang diekstraksi, termasuk identifikasi gugus fungsi kimia, manfaat senyawa, serta efektivitas ekstraksi terhadap jenis senyawa tertentu.
2. Kajian pada sistem soxhlet hanya pada proses kondensasi uap pelarut, tanpa meninjau detail mekanisme perubahan fasa uap-cair secara termodinamika maupun dinamika fluida kompleks di dalam alat ekstraksi.
3. Pengujian dilakukan pada 4 titik laju alir; 2 LPM, 2,25 LPM, 2,5 LPM, dan 2,75 LPM, dengan tidak mengubah kecepatan udara serta jenis cairan pendingin dan dilakukan dalam satu siklus ekstraksi.

1.5 Tujuan Penelitian

Sistem pendingin soxhlet yang digunakan harus dapat memenuhi beberapa kriteria di bawah ini:

1. Sistem pendingin mampu mengkondensasi uap alkohol pada alat soxhlet secara kontinu.
2. Menganalisis kinerja energi sistem pendingin menggunakan parameter efektivitas pendinginan.
3. Menganalisis aspek ekonomi sistem pendingin dengan pendekatan *Specific Energy Consumption* (SEC) dan menganalisis hasil performa sistem menggunakan *Coefficient of Performance* (COP).

1.6 Solusi Sistem yang Telah Ada

Suhu ekstraksi yang tidak sesuai dengan titik didihnya sudah menjadi masalah umum bagi para laboran, khususnya yang sering melakukan pengekstraksian sebuah bahan kimia untuk diolah. Masalah ini meliputi suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dari titik didih cairan kimia ekstraksi yang digunakan sehingga proses pengekstraksian menjadi tidak sempurna atau memakan waktu yang lama.

Salah satu metode yang umum digunakan sebelum hadirnya sistem pendingin adalah maserasi, yaitu proses perendaman bahan dalam pelarut pada suhu ruang tanpa pemanasan [1]. Metode ini tergolong sederhana dan tidak memerlukan alat kompleks, namun memiliki kekurangan seperti durasi ekstraksi yang lama, efisiensi pelarutan yang rendah, serta sulit diterapkan untuk senyawa yang memerlukan suhu ekstraksi tertentu agar terlarut optimal.

Seiring berkembangnya kebutuhan ekstraksi yang lebih efektif, metode Soxhlet mulai digunakan. Prinsip kerja Soxhlet memungkinkan ekstraksi berlangsung secara kontinu dengan cara menguapkan pelarut, lalu mengembunkan uap tersebut agar menetes kembali ke bahan yang diekstrak [4]. Dalam praktiknya, kondensor pada Soxhlet biasanya didinginkan dengan aliran air kran atau media sederhana seperti es batu. Sistem pendingin tradisional ini memang cukup efektif untuk skala laboratorium kecil, tetapi memiliki keterbatasan, terutama dari sisi kepraktisan dan efisiensi energi. Es batu harus diganti secara berkala dan tidak stabil menjaga suhu tetap rendah dalam waktu lama, sedangkan aliran air kran memerlukan pasokan air terus-menerus dan tidak ramah lingkungan untuk penggunaan jangka panjang.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa dibutuhkan sistem pendingin yang mampu menjaga suhu kondenser secara stabil, efisien, dan dapat bekerja secara berkelanjutan tanpa pengawasan intensif.

1.7 Kesimpulan dan Ringkasan CD-1

Dari analisis yang telah dilakukan, sistem pendingin yang dibutuhkan untuk penggunaan ekstraksi soxhlet adalah sistem pendingin yang mampu bekerja sesuai kebutuhan yang akan digunakan. Selain itu, ada beberapa kriteria penilaian yang harus dipenuhi seperti efisiensi energi, aspek ekonomi, aspek manufakturabilitas, dan aspek perawatan untuk mencapai sebuah hasil untuk menentukan sistem pendingin yang akan dibutuhkan.