

BAB I

PENDAHULUAN

Heat pump atau pompa kalor merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan sebagai penyedia udara pengering karena mampu menurunkan kelembapan relatif (*relative humidity/RH*) dan meningkatkan temperatur udara secara simultan. Kemampuan tersebut menjadikan pompa kalor berpotensi diterapkan pada proses pengeringan ceri kopi yang memerlukan kondisi udara pengering yang terkontrol. Oleh karena itu, pompa kalor dirancang dan dibuat sebagai penyedia udara pengering ceri kopi skala laboratorium. Dalam perancangannya, parameter desain yang diidentifikasi meliputi jenis refrigeran, kapasitas sistem, tekanan dan temperatur kerja, laju alir massa refrigeran, jenis kompresor, karakteristik evaporator dan kondensor, sistem ekspansi, serta *air handling unit* (AHU) sebagai sistem pengondisian dan distribusi udara. Selain itu, dilakukan proses fabrikasi dan integrasi komponen untuk membentuk suatu sistem pompa kalor yang sesuai dengan kebutuhan pengeringan. Karakteristik sistem ditinjau berdasarkan kinerja siklus kompresi uap, kemampuan pengondisian udara, dan performa pompa kalor sebagai penyedia udara pengering.

1.1 Latar Belakang

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan unggulan Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan berperan penting dalam perdagangan nasional maupun internasional. Untuk menghasilkan kopi dengan mutu yang baik, diperlukan penanganan pascapanen yang tepat, terutama pada tahap pengeringan. Proses pengeringan bertujuan untuk menurunkan kadar air hingga mencapai kondisi yang aman untuk penyimpanan dan pengolahan lebih lanjut, sekaligus mempertahankan kualitas fisik, kimia, dan karakteristik sensori kopi. Metode pengeringan yang digunakan diketahui berpengaruh terhadap kualitas produk akhir, termasuk kandungan senyawa bioaktif dan cita rasa kopi yang dihasilkan (Abreu et al., 2025). Namun, proses pengeringan yang masih mengandalkan energi matahari memiliki berbagai keterbatasan karena sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca,

sehingga sering menyebabkan waktu pengeringan yang lebih lama, kualitas produk yang tidak seragam, serta rendahnya efisiensi proses.

Keterbatasan tersebut mendorong perlunya pengembangan teknologi yang mampu menyediakan kondisi udara pengering secara lebih terkontrol. Salah satu teknologi yang berpotensi diterapkan adalah pompa kalor (*heat pump*), yang mampu menghasilkan udara dengan temperatur lebih tinggi dan kelembapan lebih rendah secara simultan. Teknologi ini bekerja berdasarkan prinsip perpindahan kalor melalui siklus kompresi uap, yaitu memindahkan energi panas dari lingkungan bersuhu rendah ke lingkungan bersuhu lebih tinggi dengan konsumsi energi yang relatif efisien (Abreu et al., 2025). Karakteristik tersebut menjadikan pompa kalor sebagai alternatif yang sesuai untuk aplikasi pengeringan produk pertanian, termasuk ceri kopi, karena mampu menghasilkan kondisi udara pengering yang lebih stabil dibandingkan metode pengeringan konvensional (Fauzi et al., 2024).

Kemampuan pompa kalor dalam menyediakan udara pengering sangat bergantung pada kinerja siklus kompresi uap yang terdiri atas kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Keempat komponen tersebut bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan proses pemanasan dan penurunan kelembapan udara yang diperlukan selama pengeringan berlangsung. Akan tetapi, udara masih memerlukan pengondisian dan distribusi yang tepat agar dapat dimanfaatkan secara optimal pada proses pengeringan. Oleh karena itu, diperlukan *Air Handling Unit* (AHU) yang berfungsi mengatur temperatur, kelembapan relatif, dan laju aliran udara sehingga kondisi udara yang masuk ke ruang pengering tetap sesuai dengan kebutuhan proses. Pengendalian parameter udara tersebut menjadi penting karena berpengaruh langsung terhadap mekanisme perpindahan panas dan massa yang menentukan laju serta kualitas pengeringan (Ghalandari & Iranmanesh, 2020).

Penelitian (Yuwana & Sidebang, 2023) menunjukkan bahwa pengeringan ceri kopi dengan laju aliran udara sebesar $1,3 \pm 0,44$ m/s, temperatur $59,8 \pm 6,3^{\circ}\text{C}$, dan $RH\ 27,5 \pm 13,0\%$ mampu mendukung proses pengeringan hingga mencapai kadar air akhir yang diinginkan. Selain itu, (Alves et al., 2017) melaporkan bahwa temperatur pengeringan kopi pada rentang $40\text{--}45^{\circ}\text{C}$ dapat mempertahankan

kualitas produk selama proses pengeringan. Berdasarkan penelitian tersebut, pengaturan laju aliran udara, temperatur, dan RH menjadi parameter penting dalam perancangan sistem penyedia udara pengering berbasis pompa kalor.

Selain ditentukan oleh aspek perancangan, keberhasilan sistem pompa kalor juga dipengaruhi oleh kualitas proses fabrikasi dan perakitan komponen. Sistem yang terdiri atas komponen refrigerasi, AHU, perpipaan, serta sistem kelistrikan dan kontrol harus dirakit secara tepat agar dapat beroperasi sesuai dengan fungsi yang direncanakan. Kesalahan dalam proses fabrikasi maupun perakitan dapat menyebabkan kebocoran refrigeran, ketidakstabilan operasi, penurunan efisiensi perpindahan kalor, hingga menurunnya performa sistem secara keseluruhan (Bu et al., 2023). Oleh sebab itu, proses fabrikasi dan integrasi komponen menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari rancang bangun sistem pompa kalor.

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan suatu rancang bangun pompa kalor (*heat pump*) sebagai penyedia udara pengering ceri kopi skala laboratorium yang mengintegrasikan sistem kompresi uap sederhana, *Air Handling Unit* (AHU), serta proses fabrikasi dan perakitan komponen ke dalam satu sistem yang utuh. Melalui pengembangan sistem ini diharapkan dapat diperoleh penyedia udara pengering yang mampu menghasilkan kondisi udara yang terkontrol, bekerja secara efisien, serta dapat dimanfaatkan sebagai sarana pembelajaran di lingkungan laboratorium.

1.2 Rumusan Masalah

Kesetimbangan siklus kompresi uap pada sistem pompa kalor (*heat pump*) menunjukkan adanya hubungan antara energi panas yang dilepas di kondensor dan energi panas yang diserap di evaporator. Kondisi ini menyebabkan nilai kalor pada kedua komponen tidak dapat ditentukan secara independen karena saling terikat oleh prinsip kesetimbangan energi dalam siklus refrigerasi. Pada sisi lain, sistem pengering ceri kopi membutuhkan kondisi udara dengan pengaturan suhu dan kelembapan yang spesifik, yaitu udara kering pada ruang pengering serta pelepasan panas yang stabil pada sisi kondensor secara simultan. Ketidaksesuaian antara karakteristik siklus refrigerasi dengan kebutuhan proses pengeringan tersebut menuntut adanya rancangan sistem *heat pump* skala laboratorium yang mampu mengontrol dan mengoptimalkan distribusi energi panas sesuai kebutuhan proses.

Dengan demikian, rumusan masalah yang diangkat dalam proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun *prototype* pompa kalor (*heat pump*) skala laboratorium sebagai penyedia udara pengering ceri kopi?
2. Bagaimana menguji *prototype* pompa kalor skala laboratorium sebagai penyedia udara pengering ceri kopi?

1.3 Batasan Masalah

Untuk keperluan penyederhanaan analisis, maka beberapa batasan ditetapkan sebagai berikut:

1. Sistem yang dirancang adalah pompa kalor (*heat pump*) skala laboratorium yang difungsikan sebagai penyedia udara pengering ceri kopi, sehingga tidak mencakup implementasi pada skala industri maupun komersial.
2. Sistem menggunakan siklus kompresi uap standar dengan komponen utama meliputi kompresor, kondensor, evaporator, dan katup ekspansi tanpa modifikasi terhadap prinsip dasar termodinamika siklus.
3. Sistem *heat pump* ini menggunakan komponen standar yang tersedia di pasaran, kemudian dirakit secara mandiri menjadi suatu sistem pengering. Pemilihan komponen dilakukan berdasarkan hasil perancangan dan ketersediaan spesifikasi yang sesuai, sehingga tidak seluruh karakteristik aktual komponen dapat identik dengan asumsi pada perhitungan teoritis. Oleh karena itu, terdapat kemungkinan terjadinya penyimpangan atau bias antara hasil kalkulasi desain dengan hasil pengujian akibat faktor seperti toleransi komponen, proses perakitan, kehilangan panas, dan kondisi operasi aktual sistem.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah dan batasan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan dari proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun *prototype* pompa kalor (*heat pump*) skala laboratorium yang terintegrasi dengan *Air Handling Unit* (AHU) untuk mendapatkan temperatur udara 40 – 45 °C, kelembapan relatif udara 25 – 30% dengan kecepatan udara 1 m/s.

2. Menguji *prototype heat pump* skala laboratorium untuk mendapatkan udara pengering dengan temperatur proses 40 – 45 °C, kelembapan relatif udara 25 – 30% dengan kecepatan udara 1 m/s.

1.5 Luaran

Luaran proyek akhir yang ditargetkan dalam penugasan proyek akhir meliputi:

A. Luaran wajib

1. Laporan Proyek Akhir.
2. *Prototype* Pompa Kalor (*heat pump*) Sebagai Penyedia Udara Pengering Ceri Kopi Skala Laboratorium.
3. Publikasi: paten sederhana yang telah yang telah didaftarkan, atau video yang berisi ulasan teknologi hasil proyek akhir, yang diunggah di laman *youtube*.

B. Luaran tambahan (opsional)

1. Publikasi: artikel yang dipublikasikan di jurnal internasional atau jurnal nasional. (status minimal: "submitted").

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Agar sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah laporan Proyek Akhir ini terdiri dari 5 bab atau bagian yang berurutan. Adapun bab-bab tersebut meliputi (i) pendahuluan, (ii) tinjauan pustaka, (iii) metodologi, (iv) hasil dan pembahasan, serta (v) kesimpulan dan saran. Berikut ini adalah penjelasan tentang setiap bab atau bagian.

1.6.1 Pendahuluan

Bab pendahuluan ini memuat beberapa komponen utama, yaitu latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan luaran, serta sistematika penulisan laporan. Latar belakang berisi uraian mengenai kondisi atau situasi yang melatarbelakangi munculnya ide atau gagasan yang dapat dijadikan topik Proyek Akhir. Untuk menelaah ide tersebut diperlukan studi literatur terkait. Setelah salah satu ide ditetapkan, maka akan muncul suatu permasalahan yang dapat diselesaikan melalui berbagai pendekatan, seperti pemodelan, simulasi, maupun validasi. Permasalahan yang dipilih juga perlu memiliki batasan agar pembahasan lebih

terarah pada satu fokus utama. Selanjutnya, tujuan dan luaran proyek akhir harus dijelaskan untuk memberikan gambaran mengenai hasil yang diharapkan. Terakhir, sistematika penulisan laporan perlu disampaikan agar pembaca memahami alur penyusunan laporan secara keseluruhan.

1.6.2 Tinjauan Pustaka

Bab Tinjauan Pustaka merupakan bagian dari karya ilmiah yang menyajikan hasil telaah terhadap berbagai sumber referensi yang berkaitan dengan topik penelitian. Pada bab ini, pompa kalor (*heat pump*) diuraikan secara sistematis. Literatur yang relevan mengenai rancang bangun pompa kalor dikoleksi dan disajikan. Kajian yang dilakukan tidak hanya sebatas menyajikan definisi dan penjelasan mengenai objek penelitian, tetapi juga mencakup pembahasan terhadap konsep-konsep dasar, variabel-variabel penting, serta parameter-parameter yang berhubungan langsung dengan proyek akhir yang dilakukan. Dengan adanya tinjauan pustaka ini diperoleh landasan teoritis yang kuat, yang selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam merumuskan kerangka pemikiran, metodologi penelitian, serta analisis hasil yang akan dipaparkan pada bab-bab berikutnya.

1.6.3 Metodologi Penelitian

Bab metodologi memuat metode pendekatan yang digunakan, teknik pengumpulan dan analisis data, instrumen uji, skenario pengujian, serta parameter evaluasi sistem. Penjelasan difokuskan pada bagaimana pengujian sistem dilakukan untuk menilai efisiensi termal dan stabilitas daya dalam pengaturan laboratorium.

1.6.4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini memaparkan hasil serta pembahasan yang diperoleh dalam proses merancang pompa kalor (*heat pump*) sebagai penyedia udara pengering ceri kopi skala laboratorium. Setelah rancangan yang sesuai diperoleh, tahap selanjutnya adalah proses fabrikasi untuk menjadi sebuah prototipe, kemudian dilanjutkan dengan pengujian prototipe yang telah dibuat.

1.6.5 Kesimpulan

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil proyek akhir. Kesimpulan memuat deskripsi mengenai bentuk, ukuran, serta performa atau kinerja pompa kalor (*heat pump*) sebagai peraga praktikum di laboratorium konversi energi yang

telah direalisasikan. Selain itu, kesimpulan juga menjelaskan pengaruh alat peraga tersebut terhadap efisiensi dan pemanfaatan energi. Sementara itu, bagian saran berisi rekomendasi yang ditujukan kepada pihak-pihak terkait sebagai bahan pertimbangan untuk pengembangan, penyempurnaan, maupun penerapan lebih lanjut dari hasil proyek ini.