

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi refrigerasi telah menjadi bagian penting dalam kehidupan modern, terutama dalam penyimpanan bahan makanan, obat-obatan, dan produk-produk yang membutuhkan suhu tertentu untuk menjaga kualitasnya. Kulkas atau refrigerator merupakan salah satu perangkat rumah tangga yang paling umum digunakan untuk kebutuhan tersebut. Tidak hanya digunakan di lingkungan domestik, sistem pendingin juga menjadi komponen vital dalam berbagai sektor industri seperti makanan dan minuman, farmasi, petrokimia, serta sektor transportasi rantai dingin (cold chain logistics).

Namun, seiring waktu, isu efisiensi energi dan dampak lingkungan dari penggunaan refrigeran konvensional seperti R-134a mulai menjadi perhatian utama. Refrigeran hidrofluorokarbon (HFC) seperti R-134a dikenal memiliki potensi pemanasan global *Global Warming Potential* (GWP) yang tinggi. Meskipun R-134a tidak merusak ozon seperti pendahulunya, CFC dan HCFC, GWP-nya mencapai angka sekitar 1430 kali lebih tinggi dibandingkan karbon dioksida dalam periode 100 tahun. Oleh karena itu, penggunaannya semakin dibatasi dalam kebijakan lingkungan global.

Seiring dengan komitmen global terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca, protokol Montreal yang awalnya berfokus pada penghapusan bahan perusak ozon kini diperluas dengan Amendemen Kigali untuk mengatur pengurangan HFC. Negara-negara yang menandatangani amendemen ini, termasuk Indonesia, berkomitmen untuk secara bertahap mengurangi konsumsi HFC, termasuk R-134a. Hal ini menjadi dorongan kuat untuk mencari alternatif refrigeran yang memiliki GWP rendah namun tetap memiliki karakteristik termodinamika yang baik.

Dalam konteks tersebut, munculnya konsep retrofitting sistem refrigerasi menjadi sangat relevan. Retrofitting adalah proses modifikasi atau penyesuaian pada sistem pendingin yang sudah ada, dengan tujuan meningkatkan efisiensi, memperpanjang

umur pakai sistem, serta mengganti refrigeran dengan jenis yang lebih ramah lingkungan. Metode ini menjadi alternatif yang efisien secara biaya dibandingkan dengan penggantian total sistem. Selain itu, retrofit memungkinkan pengguna untuk tetap memanfaatkan perangkat yang ada sambil menyesuaikan diri terhadap regulasi dan tren teknologi terbaru.

Penerapan retrofit tidak dapat dilakukan sembarangan. Diperlukan studi teknis dan simulasi termodinamika untuk memastikan refrigeran pengganti kompatibel secara tekanan, temperatur kerja, kapasitas pendinginan, dan kebutuhan oli kompresor. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan perangkat lunak CoolPack, sebuah tool simulasi yang dikembangkan oleh Technical University of Denmark. CoolPack memungkinkan pengguna untuk memodelkan sistem refrigerasi secara akurat dan memperoleh parameter penting seperti Coefficient of Performance (COP), pressure enthalpy chart, dan kebutuhan daya.

Objek penelitian dalam studi ini adalah kulkas kapasitas 170 liter merek Polytron tipe PRA-170DRX, yang merupakan kulkas satu pintu dengan kapasitas penyimpanan sekitar 170 liter. Ukurannya yang kompak menjadikannya populer untuk penggunaan di kamar kos, hotel, ataupun perkantoran kecil. Namun, seperti banyak kulkas komersial lainnya, unit ini masih menggunakan refrigeran R-134a. Dengan karakteristik unit yang sederhana dan kapasitas kecil, kulkas ini menjadi objek yang ideal untuk uji coba retrofit dalam skala laboratorium.

Tantangan utama dari penelitian ini adalah memilih refrigeran alternatif yang tidak hanya memiliki GWP rendah, tetapi juga tidak membutuhkan modifikasi besar pada komponen utama sistem seperti kompresor, kondensor, evaporator, dan pipa kapiler. Di antara refrigeran alternatif yang umum digunakan adalah hidrokarbon seperti R-600a (Isobutane), yang dikenal memiliki efisiensi termal lebih tinggi dan GWP sangat rendah, dan harga refrigerant yang lebih murah. Namun, penggunaannya juga harus mempertimbangkan faktor keamanan karena sifatnya yang mudah terbakar (flammable).

Selain masalah lingkungan dan teknis, efisiensi energi juga menjadi fokus utama dalam retrofit sistem pendingin. Di tengah meningkatnya tarif listrik dan kebutuhan

energi yang terus bertambah, efisiensi energi sistem pendingin menjadi pertimbangan penting dalam desain ulang atau modifikasi perangkat. Sistem pendingin rumah tangga menyumbang porsi signifikan dalam konsumsi energi listrik. Maka dari itu, setiap peningkatan efisiensi, sekecil apa pun, akan berdampak positif terhadap total konsumsi energi nasional.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diketahui performa sistem refrigerasi setelah dilakukan proses retrofit, baik dari segi efisiensi termal, konsumsi energi, maupun dampak lingkungan dari refrigeran baru yang digunakan. Evaluasi dilakukan secara kuantitatif menggunakan parameter COP sebagai indikator utama performa dan mendapatkan data efisiensinya. Hasilnya akan memberikan gambaran menyeluruh tentang layak atau tidaknya refrigeran pengganti digunakan pada unit kulkas kapasitas kecil secara teknis dan ekonomis.

Studi ini juga berpotensi memberikan kontribusi terhadap pengembangan kebijakan teknologi pendingin yang lebih hijau di Indonesia, mengingat tingginya jumlah unit kulkas rumah tangga yang beredar dan potensi besar penghematan energi nasional. Selain itu, hasil penelitian dapat menjadi rujukan bagi industri kecil dan menengah dalam proses transisi ke sistem pendingin yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Dengan demikian, urgensi penelitian ini bukan hanya bersifat teknis, tetapi juga strategis dan lingkungan, sejalan dengan agenda pembangunan berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs), khususnya dalam hal konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab serta aksi terhadap perubahan iklim.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis performa sistem refrigerasi berbasis refrigeran R600 melalui perhitungan manual pada kondisi tanpa beban maupun berbeban, khususnya dalam menentukan nilai Coefficient of Performance (COP) dan daya kompresor yang dibutuhkan.
2. Membandingkan hasil perhitungan manual dengan simulasi menggunakan perangkat lunak Coolpack untuk memperoleh gambaran kebutuhan daya kompresor yang lebih ideal pada kondisi tanpa beban maupun berbeban.

3. Membandingkan kinerja refrigeran R134a dan R600a pada kondisi tanpa beban, terutama terkait kemampuan pendinginan, pencapaian suhu akhir, dan waktu penurunan temperatur.
4. Mengevaluasi kemampuan pendinginan chiller pada kondisi tanpa beban untuk melihat perbedaan efisiensi sistem antara R134a dan R600a, sekaligus meninjau aspek ramah lingkungan dari masing-masing refrigeran.
5. Menganalisis karakteristik pendinginan freezer dan chiller menggunakan R600a pada kondisi berbeban, dengan fokus pada pencapaian suhu akhir dan laju penurunan temperatur.
6. Menentukan keunggulan dan kelemahan masing-masing refrigeran, serta memberikan pertimbangan dalam pemilihan refrigeran berdasarkan performa teknis, efisiensi energi, dan keberlanjutan lingkungan.

1.3 Metodologi Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini penulis menggunakan Langkah-langkah sebagai berikut:

- Survey lapangan yakni berupa peninjauan langsung ke lokasi tempat pengambilan data untuk kulkas 1 pintu polytron 170 liter PRA 170 DRX. Untuk pengamatan unjuk kerja atau performa pada perbedaan refrigerant antara R600 dan R134A
- Studi literatur yakni berupa studi kepustakaan, kajian dari buku dan tulisan-tulisan yang terkait dengan penulisan tugas akhir.
- Metode diskusi yakni berupa diskusi antara mahasiswa dengan dosen pembimbing mengenai sistem kerja pendingin pada mesin kulkas 1 pintu polytron

1.4 Pembatasan Masalah

Pada penulisan tugas akhir ini penulis menitikberatkan Batasan masalah antara lain sebagai berikut:

1. Menganalisis *performance* sistem pendingin sebelum retrofit. Mengevaluasi kondisi awal refrigerator dalam hal konsumsi energi,

performa pendinginan, dan efisiensi operasional untuk mengidentifikasi komponen yang memerlukan perbaikan.

2. Melakukan retrofit untuk meningkatkan kinerja sistem pendingin. Melakukan penggantian atau modifikasi pada komponen sistem refrigerasi untuk meningkatkan kapasitas pendinginan, efisiensi energi, dan kinerja keseluruhan mesin refrigerator
3. Memanfaatkan perangkat lunak Coolpac untuk menganalisis dan memverifikasi parameter teknis seperti tekanan, suhu, dan koefisien performa (COP) untuk memastikan hasil retrofit telah mencapai target yang diinginkan
4. Menggunakan refrigeran alternatif yang lebih ramah lingkungan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap pemanasan global dan kerusakan lapisan ozon.
5. Mengetahui perbedaan *performance* refrigerant R600 dan R134A yg lebih efektif untuk mengetahui refrigerant mana yang lebih cepat mendinginkan area dalam kulkas
6. Menyusun langkah-langkah teknis dan operasional untuk retrofit refrigerator berkapasitas kecil sebagai referensi untuk pengembangan teknologi pendinginan di masa depan

1.5 State of the art

- Suhengki melakukan penelitian dan melihat, hasil penelitian diperoleh bahwa Jika beban pendingin meningkat akan berpengaruh pada peningkatkan jumlah kalor yang diserap evaporator, kalor yang dibuang evaporator, penurunan kerja kompresor, massa refrigerant dalam sistem dan COP yang menurun. Pemakaian refrigerant hidrokarbon MC 134 berdampak pada kenaikan kalor yang diserap evaporator, kenaikan kalor yang dibuang konsendor, COP sistem, massa refrigerant yang bersikulasi dalam sistem berkurang dan kerja kompresor akan menurun. Retrofit refrigerant R134a dengan refrigerant hidrokarbon MC 134 layak dipertimbangkan untuk sistem refrigerasi kompresi uap
- Benedicta melakukan penelitian dan melihat bahwa, Proses retrofitting mesin pompa kalor merupakan proses mengganti refrigeran pada mesin

pendingin dengan jenis refrigeran yang berbeda. Dalam proses retrofitting dilakukan dengan mengganti refrigeran R-12 dengan R-134a pada sistem pengkondisian udara dengan pre-cooling. Tujuan dari retrofitting ini antara lain untuk meningkatkan kinerja mesin pendingin dan membuatnya lebih ramah lingkungan. Proses retrofitting ini melibatkan penggantian refrigeran primer yang semula digunakan dengan refrigeran yang diinginkan, serta penyesuaian sistem agar sesuai dengan karakteristik refrigeran baru yang digunakan. Sebagai bagian dari proses pembelajaran mahasiswa Jurusan Teknik Permesinan Kapal di PPNS, penggunaan refrigeran R12 yang telah dilarang penggunaannya baik dalam praktek di kampus maupun penggunaan secara aktual di kapal. Sehingga sebagai alternatif pengganti, digunakan refrigeran R134a yang telah sesuai dengan standar klas kapal yang dikeluarkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dalam penggunaannya seperti tercantum pada Rules BKI Part I Seagoing Ships Volume VIII Rules for Refrigerating Installations Section 1.1 Approved Refrigerants. Dari proses retrofitting yang dilakukan didapatkan peningkatan performa mesin pompa kalor sebanyak 12% pada COP power factor pada masing-masing area pengujian. Serta proses retrofitting menunjukkan hasil yang lebih optimal, sehingga pembelajaran selanjutnya dapat menggunakan refrigeran R-134a yang ramah lingkungan

- Yaumi melakukan penelitian bertujuan untuk menilai kinerja sistem kulkas ketika refrigeran R-134a diganti dengan refrigeran hidrokarbon R600. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan pengumpulan data saat sistem mencapai kestabilan. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada saat menggunakan R134a memiliki nilai tekanan suction sebesar 1,2 Bar absolute tekanan discharge 10,8 Bar absolute, untuk COP_{actual} sebesar 2,44 dan COP_{Carnot} sebesar 4,03 serta arus listrik 0,9 ampere sedangkan menggunakan R600 memiliki nilai tekanan suction sebesar 1,1 Bar absolute tekanan discharge 6 Bar absolute, untuk COP_{actual} sebesar 3,34 dan COP_{Carnot} sebesar 4,93 serta arus listrik 0,8 ampere. Refrigeran R600 bisa dijadikan alternatif untuk R134a.

- Imam melakukan penelitian dan melihat bahwa, Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui komponen mesin refrigerasi khususnya pembahasan evaporator. Dalam penelitian ini digunakan lemari pendingin (kulkas) sederhana untuk pengawetan dan pendinginan bahan makanan dalam rumah tangga. Untuk refrigerant yang digunakan adalah Refrigerant Freon R – 22 dan Freon R - 134a sebagai perbandingan dan untuk mengetahui performance evaporator (COP) pada mesin refrigerasi untuk rumah tangga. Lemari pendingin yang dianalisa berukuran tinggi = 1 m, panjang = 0,55 m dan lebar 0,5 m. Temperatur evaporasi = -5°C dan temperature kondensasi = 40°C.
- Mutaufiq melakukan penelitian dan melihat bahwa, Isu tentang kerusakan ozon dan pemanasan global permukaan bumi akibat refrigeran sintetik, mendorong laboratorium Pendidikan yang menggunakan mesin pendingin, mencari alternatif jenis refrigeran yang ramah lingkungan. Retrofit merupakan penggantian refrigeran (bahan habis sebagai fluida kerja) dengan jenis refrigeran yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan eksperimen retrofit refrigeran R-134a pada alat praktikum mesin pendingin jenis refrigerator/kulkas dengan refrigeran natural yang diproduksi oleh perusahaan domestik sebagai refrigeran ramah lingkungan. Penelitian dirancang secara eksperimen dengan metode retrofit *drop in substitute*. Jenis refrigeran natural yang digunakan adalah Musicool-22 (MC-22). Pengujian diawali dengan mengukur performa mesin pendingin refrigerator yang masih menggunakan refrigeran R-134a, untuk mendapatkan performa awal refrigerator. Kemudian dilakukan retrofit dengan MC-22 dengan jumlah massa 15% sampai 65% dari massa R-134a. Selanjutnya kinerja refrigerator yang sudah diretrofit menggunakan MC-22 diukur sebagaimana pengukuran kinerja mesin pendingin menggunakan refrigeran R-134a. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, performa mesin pendingin refrigerator meningkat pada saat diretrofit MC-22 dengan jumlah massa refrigeran 25% sampai 35% dari massa refrigeran R-134a. Performa terbaik refrigerator diperoleh saat menggunakan MC-22 (m=25g) dengan nilai COP meningkat sampai 10,3% dan suhu evaporator

lebih rendah 6°C dari mesin pendingin refrigerator yang menggunakan refrigeran asalnya (R-134a, $m=100\text{g}$)

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penulisan laporan tugas akhir ini penulis membuat sistematika

Penulisan sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, metodologi penulisan, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan. Tujuan adalah memberikan gambaran awal mengenai topik dan arah penelitian

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memaparkan tentang teori–teori dan persamaan persamaan yang mendasari perumusan masalah, siklus kerja dan komponen–komponen utama sistem pendingin refrigerator 1 pintu kapasitas 170 liter

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode dan tahapan penelitian yang digunakan. Didalamnya terdapat uraian tentang jenis dan pendekatan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, objek penelitian, teknik pengumpulan data, contoh software coolpack

BAB 4 : PERHITUNGAN DAN ANALISA

Bab ini memuat tentang perhitungan efisiensi termal dan analisa termodinamika terhadap Sistem pendingin refrigerator 1 pintu kapasitas 170 liter

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam Bab ini berisi hasil dari hasil analisis yang telah penulis lakukan.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN