

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanasan global dan kerusakan lapisan ozon merupakan dua persoalan lingkungan yang telah menjadi perhatian serius komunitas internasional sejak beberapa dekade terakhir. Kedua fenomena tersebut dipicu antara lain oleh pelepasan gas-gas berbahaya ke atmosfer, termasuk refrigeran sintetis yang digunakan secara masif dalam sistem pendingin ruangan. Masyarakat dunia merespons ancaman ini melalui Protokol Montreal tahun 1987 yang mewajibkan penghapusan bertahap refrigeran berbasis *Chlorofluorocarbon* (CFC) dan *Hydrochlorofluorocarbon* (HCFC), serta Protokol Kyoto tahun 1997 yang menetapkan komitmen pengurangan emisi gas rumah kaca. Di tingkat global, sektor refrigerasi dan pengkondisian udara diidentifikasi sebagai salah satu kontributor signifikan terhadap emisi gas yang memiliki nilai *Global Warming Potential* (GWP) dan *Ozone Depletion Potential* (ODP) tinggi. Refrigeran konvensional jenis HCFC-22 atau yang dikenal dengan R22 menjadi salah satu zat yang paling banyak disoroti karena terbukti memberikan dampak merusak terhadap lapisan ozon sekaligus berkontribusi terhadap pemanasan global (Sugiono, Rohman, & Prayogi, 2022). Oleh karena itu, berbagai negara termasuk Indonesia diwajibkan untuk melakukan transisi menuju refrigeran yang lebih ramah lingkungan sesuai dengan tenggat waktu yang telah disepakati bersama.

Di Indonesia, penggunaan refrigeran R22 masih sangat dominan, khususnya pada sektor *Air Conditioner* (AC) rumah tangga dan komersial. Hal ini terjadi lantaran harga R22 yang relatif terjangkau, ketersediaannya yang luas di pasar, serta besarnya jumlah unit AC lama yang beredar dan masih bergantung pada jenis refrigeran tersebut. Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Perindustrian telah menetapkan kebijakan penghapusan HCFC-22 secara bertahap sebagaimana tertuang dalam Peraturan Menteri Perindustrian yang mengacu pada komitmen Protokol Montreal. Namun demikian, pada praktiknya di lapangan, transisi

refrigeran berjalan lambat karena minimnya informasi teknis mengenai alternatif pengganti yang memadai. Kebutuhan masyarakat akan sistem pendingin terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri dan meningkatnya kesadaran akan kenyamanan termal, sehingga tekanan terhadap konsumsi refrigeran berbasis HCFC semakin besar. Kondisi ini menciptakan kesenjangan antara regulasi lingkungan yang menuntut percepatan transisi dan kesiapan teknis para pelaku industri maupun pengguna akhir di tingkat nasional.

Secara nyata di lapangan, teknisi maupun pengguna AC seringkali dihadapkan pada pilihan refrigeran pengganti yang membingungkan, mengingat tersedianya berbagai alternatif seperti R32, R290, R407C, dan R410A yang masing-masing memiliki karakteristik termofisika, nilai GWP, nilai ODP, tingkat kemudahan terbakar (*flammability*), serta kinerja pendinginan yang berbeda-beda. Di antara berbagai alternatif tersebut, R32 saat ini telah menjadi refrigeran yang paling banyak diadopsi sebagai pengganti R22 pada unit AC *split* residensial. R32 tergolong dalam kelompok *Hydrofluorocarbon* (HFC) dengan nilai ODP sebesar 0, namun masih memiliki nilai GWP sebesar 675, yang berarti dampak pemanasan globalnya 675 kali lebih besar dibandingkan karbon dioksida dalam jangka waktu 100 tahun (Sugiono, Rohman, & Prayogi, 2022). Dengan nilai GWP tersebut, R32 masih termasuk dalam kategori refrigeran yang menjadi target pengurangan bertahap berdasarkan Amandemen Kigali tahun 2016, sehingga dibutuhkan alternatif yang lebih ramah lingkungan untuk menggantikannya.

Dalam konteks tersebut, R290 atau *propane* (propana) muncul sebagai kandidat utama pengganti R32. R290 merupakan refrigeran hidrokarbon alami dengan nilai GWP sebesar 3 dan ODP sebesar 0, sehingga jauh lebih ramah lingkungan dibandingkan R32. Selain keunggulan dari sisi lingkungan, R290 juga memiliki sifat termodinamika yang unggul, meliputi panas laten (*latent heat*) yang tinggi, konduktivitas termal yang baik, serta viskositas yang rendah, yang secara teoritis mendukung efisiensi sistem pendinginan yang lebih optimal. Akan tetapi, tidak jarang penggantian refrigeran dilakukan tanpa pemahaman yang memadai mengenai kompatibilitas sistem, konsumsi arus listrik, dan efisiensi termal yang dihasilkan. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan kesalahan pengisian

refrigeran, kerusakan komponen, pemborosan energi, bahkan risiko keselamatan akibat sifat mudah terbakar (*flammable*) pada refrigeran hidrokarbon seperti R290. Fenomena ini menunjukkan bahwa kebutuhan akan kajian ilmiah yang komprehensif dan berbasis data empiris mengenai kinerja R290 sebagai pengganti R32 sangatlah mendesak, khususnya dalam konteks pengkondisian udara jenis AC *split* yang paling umum digunakan di Indonesia.

Dampak dari penggunaan refrigeran yang tidak tepat tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga berdimensi ekonomi dan lingkungan. Dari sisi ekonomi, pemilihan refrigeran dengan konsumsi arus listrik yang lebih tinggi akan berimbas langsung pada tagihan listrik pengguna dalam jangka panjang. Dari sisi lingkungan, penggunaan refrigeran ber-GWP tinggi secara terus-menerus akan memperparah laju pemanasan global, yang pada gilirannya berdampak pada ketidakstabilan iklim, kenaikan permukaan laut, dan berbagai bencana ekologis yang mengancam kesejahteraan masyarakat luas. Selain itu, bagi para teknisi dan industri jasa perawatan AC, ketidaktepatan dalam memilih refrigeran dapat menyebabkan kerugian finansial akibat kerusakan unit dan tuntutan garansi. Dengan demikian, persoalan pemilihan refrigeran bukan sekadar persoalan teknis semata, melainkan menyangkut aspek sosial ekonomi dan keberlanjutan lingkungan hidup yang lebih luas.

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji berbagai aspek perbandingan refrigeran alternatif. Sugiono, Rohman, dan Prayogi (2022) melakukan analisis terhadap nilai GWP dan ODP dari refrigeran R32, R290, R407C, dan R410A, dan menyimpulkan bahwa R290 memiliki nilai GWP paling rendah di antara seluruh alternatif yang dikaji, menjadikannya pilihan paling ramah lingkungan. Harman, Mukhlis, dan Hamarung (2017) melakukan analisis eksperimen penggunaan R22, R32, dan campuran R502-R407C pada AC *split* dan mendapatkan perbedaan kinerja antarrefrigeran secara signifikan. Kusnandar et al. (2019) menganalisis performansi AC *split* dengan membandingkan R410A dan R32 pada variasi putaran *fan evaporator*, dan menemukan bahwa R32 memberikan nilai *Coefficient of Performance* (COP) yang lebih unggul pada kondisi tertentu. Penelitian dari Universitas Sumatera Utara yang dipublikasikan dalam JITET (2025) melakukan

pengujian eksperimental perbandingan suhu dan konsumsi arus listrik antara R32 dan R410A pada AC *split* ½ HP, dan mendapatkan bahwa rata-rata kelembapan dengan R32 lebih tinggi sebesar 64% dibanding R410A sebesar 60%, sementara konsumsi arus R32 lebih rendah (Hidayat et al., 2025). Lebih lanjut, penelitian mengenai performansi dan ekonomi AC 1 PK menggunakan R22 dan R290 (Putra et al., 2022) menunjukkan bahwa R290 mampu memberikan kinerja yang kompetitif, meskipun pada kondisi pengujian tertentu R22 masih lebih unggul dari sisi nilai COP. Yang paling relevan dengan penelitian ini, Widodo et al. (2022) menganalisis secara langsung kinerja R290 sebagai pengganti R32 pada AC *split* berkapasitas 9.000 Btuh/hr dan menemukan bahwa R290 mampu menghemat pengisian refrigeran hingga 30% dengan kinerja pendinginan yang sebanding dengan R32.

Meskipun sejumlah penelitian telah memberikan kontribusi penting, terdapat kesenjangan (*research gap*) yang belum sepenuhnya terisi. Pertama, penelitian yang secara spesifik membandingkan R290 dan R32 secara langsung dari aspek kinerja termal meliputi suhu, arus listrik, dan nilai COP pada kondisi iklim tropis lembap yang khas di Indonesia masih sangat terbatas. Kedua, kajian yang mengintegrasikan sekaligus aspek lingkungan berupa GWP dan ODP serta aspek kinerja termal dalam satu kerangka analisis yang komprehensif untuk pasangan refrigeran R290 dan R32 belum banyak dilakukan. Ketiga, kajian yang secara spesifik menyoroti aspek keekonomisan konsumsi energi listrik dalam jangka panjang akibat perbedaan penggunaan R290 dibandingkan R32 masih minim dilakukan secara menyeluruh.

Berdasarkan paparan di atas, penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan analisis kinerja mesin pendingin (AC) menggunakan refrigeran R290 sebagai pengganti R32. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi ilmiah berbasis data empiris mengenai kelayakan R290 dari sisi ramah lingkungan sekaligus efisien secara teknis dan ekonomis, sehingga dapat menjadi acuan bagi para teknisi, pelaku industri, dan pengambil kebijakan dalam mempercepat transisi refrigeran di Indonesia secara tepat sasaran dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas maka terdapat rumusan masalah yang akan dikaji pada penelitian ini, yakni sebagai berikut.

1. Bagaimana kinerja mesin pendingin udara (*Air Conditioning/AC*) apabila menggunakan refrigeran ramah lingkungan R290 dengan Perbandingan R32?
2. Bagaimana kinerja mesin pendingin udara (*Air Conditioning/AC*) yang menggunakan refrigeran ramah lingkungan R290 ditinjau dari parameter kinerja termal, meliputi *Coefficient of Performance* (COP), kapasitas pendinginan, tekanan, dan temperatur kerja sistem?

1.3 Batasan Masalah

Guna menjaga fokus dan kedalaman kajian, penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut :

1. Penelitian ini hanya mencakup analisis kinerja mesin pendingin udara (*Air Conditioning/AC*) yang beroperasi menggunakan siklus kompresi uap (*Vapor Compression Cycle*) dan tidak mencakup sistem pendingin dengan siklus absorpsi maupun sistem pendingin alternatif lainnya.
2. Analisis kinerja mesin pendingin difokuskan pada parameter utama, yaitu *Coefficient of Performance* (COP), kapasitas pendinginan (*Cooling Capacity*), konsumsi daya listrik, serta tekanan dan temperatur kerja sistem pada titik-titik utama siklus refrigerasi.
3. Penelitian ini tidak membahas aspek desain ulang komponen AC, melainkan hanya mengevaluasi kinerja sistem pendingin dengan konfigurasi komponen standar pada unit AC yang digunakan sebagai objek pengujian.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah disajikan maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kinerja mesin pendingin udara (AC) yang menggunakan refrigeran ramah lingkungan R290 dengan perbandingan R32.

2. Mengetahui dan menganalisis parameter kinerja termal, meliputi *Coefficient of Performance* (COP), kapasitas pendinginan, tekanan, dan temperatur kerja sistem pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R290.

1.5 Manfaat Penelitian

Ada pun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Secara teoretis, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik termal dan sistem refrigerasi, khususnya mengenai kinerja mesin pendingin udara berbasis refrigeran ramah lingkungan, serta menjadi referensi bagi penelitian lanjutan di bidang teknologi pendingin berkelanjutan.

2. Manfaat Praktis

Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi teknisi, produsen, dan pemangku kebijakan dalam memilih dan mengembangkan refrigeran yang optimal secara kinerja sekaligus ramah lingkungan, serta meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya teknologi pendingin berkelanjutan sebagai bagian dari mitigasi perubahan iklim.