

Analisis Rasio Kompresi AC Split R32 yang Diretrofit R290 di Ruang Akomodasi Kapal

Rizka Noor Miftakhul Ulum¹⁾, Irsat Surya Sekti²⁾, Noviarianto³⁾, Anang Budhi Nugroho⁴⁾, Supardi⁵⁾

^{1,3,4)}Jurusan Teknika, ²⁾Jurusan Nautika, Politeknik Maritim Negeri Indonesia

Jl. Pawiyatan Luhur I /1 Bendan Duwur, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah 50233

⁵⁾ Fakultas Ekonomi Pendidikan Hukum, Universitas Muhammadiyah Kudus

Jl. Ganesha Raya No.I, Purwosari, Kec. Kota Kudus, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah 59316

email: rizkanoormu27@polimarin.ac.id

Abstrak

Sistem pendingin udara (AC) berperan penting dalam menjaga kenyamanan termal di ruang akomodasi kapal, terutama saat beroperasi di wilayah tropis. Namun, penggunaan refrigeran seperti R32 menimbulkan kekhawatiran lingkungan akibat nilai Global Warming Potential (GWP) yang tinggi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh retrofit refrigeran R290 sebesar 40% massa terhadap rasio kompresi dan performa pendinginan sistem AC *split* 1 PK yang sebelumnya menggunakan R32. Metode yang digunakan adalah uji eksperimental dengan variasi suhu udara masuk evaporator (23°C, 25°C, 27°C) dan kondensor (30°C dan 35°C). Pengukuran dilakukan pada tekanan sisi hisap dan buang kompresor, lalu dihitung nilai rasio kompresi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa refrigeran R32 memiliki rasio kompresi tertinggi sebesar 3,09 dan terendah 2,87, sedangkan R290 menunjukkan nilai tertinggi 2,86 dan terendah 2,60. Perbedaan ini mencerminkan pengaruh karakteristik termodinamika masing-masing refrigeran terhadap kerja kompresor. R290 menunjukkan potensi sebagai alternatif ramah lingkungan dalam sistem pendingin ruang akomodasi kapal, dengan catatan diperlukan penyesuaian teknis untuk mempertahankan performa sistem secara optimal.

Kata Kunci: AC *Split*, R290, Rasio Kompresi, Retrofit, Ruang Akomodasi Kapal

Abstract

Air conditioning (AC) systems play a crucial role in maintaining thermal comfort within ship accommodation spaces, especially during operations in tropical climates. However, the use of refrigerants such as R32 raises environmental concerns due to its relatively high Global Warming Potential (GWP). This study aims to analyze the impact of retrofitting 40% by mass of R290 into a 1-HP split AC system originally designed for R32, focusing on the resulting compression ratio and cooling performance. The experimental method involved varying the inlet air temperatures to the evaporator (23°C, 25°C, and 27°C) and condenser (30°C and 35°C). Suction and discharge pressures of the compressor were measured to calculate the compression ratio. The results showed that R32 yielded the highest compression ratio of 3.09 and the lowest at 2.87, while R290 produced a maximum of 2.86 and a minimum of 2.60. These differences reflect the influence of each refrigerant's thermodynamic properties on compressor operation. R290 demonstrates potential as an environmentally friendly alternative for marine air conditioning systems, although technical adjustments are required to maintain optimal system performance.

Keywords: AC Split, Compression Ratio, Retrofit, R290, Ship Accommodation Space

1. PENDAHULUAN

Sistem pendingin udara (AC) memegang peranan penting dalam menjaga kenyamanan termal di ruang akomodasi kapal, yang merupakan bagian dari upaya penerapan prinsip ergonomi guna meningkatkan kenyamanan dan keselamatan kerja awak kapal. Dalam kegiatan operasional di laut, khususnya pada kapal perikanan atau kapal niaga yang berlayar di wilayah tropis, suhu ruang yang tidak stabil dapat menyebabkan kelelahan, gangguan kesehatan, hingga menurunnya performa kerja pelaut. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa desain sistem dan fasilitas kapal yang tidak ergonomis, seperti ruang istirahat yang tidak layak, kebisingan tinggi, hingga suhu ruang yang panas, menjadi faktor risiko ergonomi yang signifikan bagi awak kapal (Damanik & Susilawati, 2023). Sistem AC yang umum digunakan di ruang akomodasi kapal sering kali menggunakan refrigeran R32 karena efisiensi pendinginannya yang tinggi. Namun, R32 masih memiliki nilai Global Warming Potential (GWP) sebesar 675, yang menimbulkan kekhawatiran lingkungan dalam konteks penerapan Protokol Montreal dan Kyoto. Meskipun lebih ramah dibandingkan R22 dan R410A, R32 tetap bukan pilihan ideal untuk jangka panjang. Karena itu, refrigeran alami seperti R290 dengan GWP yang jauh lebih rendah mulai dikaji sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan (Prayogi & Sugiono, 2022).

Sebagai respons terhadap permasalahan lingkungan tersebut, refrigeran hidrokarbon seperti R290 (propana) mulai dikembangkan sebagai alternatif ramah lingkungan karena memiliki GWP yang sangat rendah (hampir nol) dan nilai ODP (Ozone Depletion Potential) yang juga nol. R290 memiliki karakteristik termofisika yang baik seperti tekanan kerja rendah dan kapasitas pendinginan yang kompetitif, sehingga dianggap sebagai kandidat pengganti refrigeran konvensional di berbagai sektor, termasuk sektor kelautan (Calm & Domanski, 2004). Akan tetapi, penerapan R290 dalam sistem pendingin memerlukan evaluasi teknis yang cermat karena meskipun memiliki efisiensi termal tinggi dan ramah lingkungan, sifatnya yang mudah terbakar masih menjadi tantangan utama dalam implementasi sistem secara aman dan andal (Ibrahim et al., 2024).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi performa refrigeran R290 pada sistem AC split, baik dalam konfigurasi sistem baru maupun hasil retrofit. Salah satu hasil umum menunjukkan bahwa penggunaan R290 cenderung menghasilkan konsumsi daya kompresor yang lebih rendah dibandingkan dengan R410A (Fajar et al., 2020). Selain itu, dalam skenario retrofit dari R22 ke R290, meskipun terjadi penurunan kapasitas pendinginan sebesar 2,8%, nilai Energy Efficiency Ratio (EER) meningkat sebesar 12,6% ketika R290 digunakan sebesar 50% dari massa refrigeran R22 awal (Tanaka et al., 2018).

Eksperimen lain yang melibatkan AC jendela berkapasitas 2,4 kW dengan refrigeran R22 dan EER awal sebesar 3,2 menunjukkan bahwa penerapan kompresor dengan kapasitas 20% lebih besar untuk R290 dapat meningkatkan efisiensi pendinginan saat suhu lingkungan menurun, meskipun terjadi penurunan pada EER (Wu, 2012). Di sisi lain, Ridwan dkk. melakukan studi eksperimental mengenai performa sistem AC split yang telah diretrofit dari R32 ke R1270 dengan massa pengisian sebesar 60% dari total massa R32. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan R1270 mampu menurunkan konsumsi daya hingga 40,93%. Namun demikian, terjadi penurunan pada kapasitas pendinginan sebesar 44,91% serta penurunan COP sebesar 12,53% (Ridwan et al., 2023). Pada sistem AC split rumah tangga, penggunaan campuran refrigeran R32 dan R290 dengan rasio 70:30 tanpa dilakukan modifikasi sistem mampu meningkatkan nilai Coefficient of Performance (COP) sebesar 14% dan menurunkan konsumsi daya hingga 47%, meskipun kapasitas pendinginan mengalami penurunan sebesar 33% (Temaja, 2018).

Penelitian oleh Issa et al. melakukan kajian menyeluruh terhadap sistem pompa kalor dan pendingin udara residensial yang menggunakan R290 sebagai refrigeran utama, mencakup aspek desain, keselamatan, performa termal, dan efisiensi sistem. Studi tersebut menekankan bahwa R290 memiliki sifat termofisika yang unggul, termasuk tekanan kerja yang lebih rendah dibandingkan refrigeran HFC, serta efisiensi energi yang tinggi dalam berbagai konfigurasi sistem, baik monoblok maupun split. Namun demikian, penelitian ini juga menggarisbawahi pentingnya pengendalian massa pengisian refrigeran dan pemantauan parameter operasional secara cermat untuk mencegah risiko keamanan akibat sifat mudah terbakar dari R290 (Issa et al., 2025). Bhatkar dkk. menunjukkan bahwa meskipun R290 memiliki efisiensi perpindahan panas yang tinggi, penggunaannya dalam sistem yang tidak dirancang khusus menyebabkan peningkatan beban kerja kompresor dan penurunan COP. Hal ini menunjukkan pentingnya evaluasi parameter teknis seperti rasio kompresi dalam sistem retrofit berbasis R290 (Bhatkar et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh retrofit R290 sebesar 40% massa terhadap rasio kompresi sistem AC split R32 serta dampaknya terhadap performa pendinginan pada ruang akomodasi kapal. Pengujian dilakukan melalui pendekatan eksperimental menggunakan simulasi ruang akomodasi berbasis ruang tertutup dengan beban termal yang dikontrol untuk merepresentasikan kondisi aktual di lingkungan maritim. Dengan fokus pada aspek tekanan kerja dan karakteristik kompresor, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem pendingin kapal yang efisien, aman, dan ramah lingkungan, serta menjadi acuan teknis dalam penerapan refrigeran hidrokarbon pada sistem AC retrofit.

2. METODE PENELITIAN

Metode harus mencakup beberapa hal (Gavaris, 2009), yaitu: 1) Objek penelitian. Deskripsikan mengenai objek penelitian. Jelaskan perolehan data penelitian (Barney, 2014). 2) Perlakuan pada objek penelitian (Ruppert & Abonyi, 2020). Kemukakan variabel tetap dan berubah dari penelitian, variasi -variasi apa yang dilakukan dalam penelitian (de la Peña Zarzuelo, Freire Soeane, & López Bermúdez, 2020). 3) Metode atau cara pemecahan beserta prosedur yang digunakan untuk meneliti. Kemukakan apakah metode tersebut telah banyak digunakan atau metode terbaru beserta kelebihan dan kekurangan metode. 4) Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian. Jelaskan alat dan bahan utama yang digunakan. Tidak perlu menjelaskan secara terperinci (Ruppert & Abonyi, 2020).

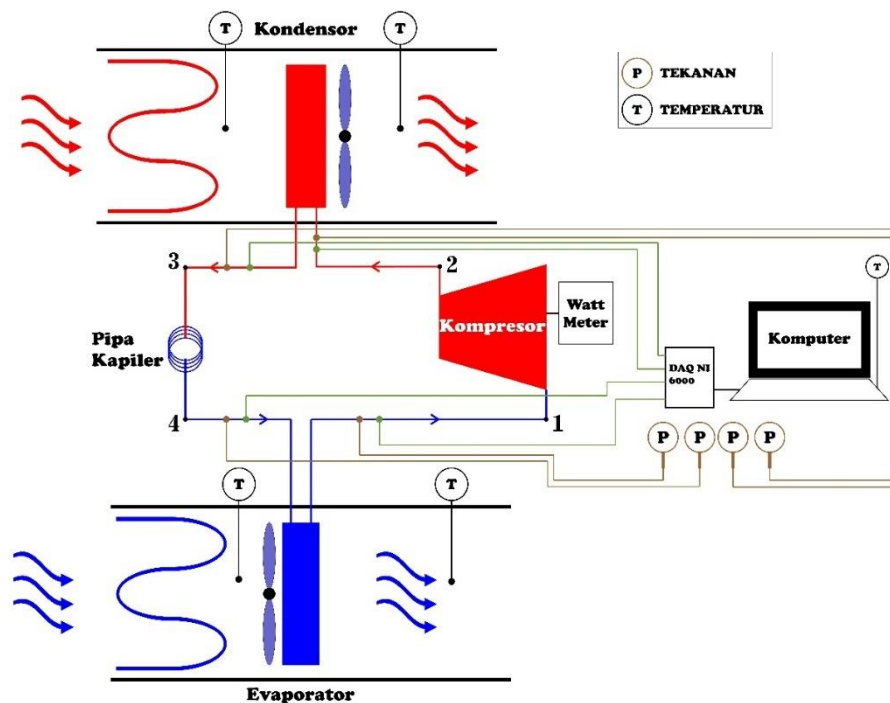
Perangkat utama yang digunakan dalam pengujian ini adalah satu unit AC *split* dengan kapasitas 9000 BTU (sekitar 1 PK). Sistem ini terdiri dari empat komponen inti yaitu kompresor, kondensor, evaporator, dan pipa kapiler yang diatur ulang dari konfigurasi aslinya untuk memungkinkan observasi langsung terhadap performa masing-masing komponen. Dengan sistem yang dirancang ulang ini, seluruh elemen saling terhubung dalam satu rangkaian sirkulasi tertutup, sehingga memudahkan proses pengambilan data.

Pengukuran suhu dan tekanan dilakukan pada masing-masing titik sistem guna memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kondisi operasional. Nilai rasio tekanan atau *ratio pressure* (R_p) dihitung menggunakan persamaan 1 sebagai berikut.

$$R_p = \frac{P_d}{P_s} \quad (1)$$

Pressure discharge (P_d) menyatakan tekanan pada sisi buang (discharge) kompresor dalam satuan kPa, sedangkan pressure suction (P_s) mengacu pada tekanan sisi hisap (suction) kompresor, juga dalam satuan kPa.

Instrumen yang digunakan dalam pengambilan dan pencatatan data meliputi komputer jinjing yang terhubung ke perangkat Data Acquisition System (DAQ NI) dari National Instruments, sensor suhu LM35, pressure gauge, dan timbangan elektronik. Konfigurasi alat uji ini diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi alat uji.

Pengujian dilakukan secara eksperimental di lapangan, dan dilanjutkan dengan proses pengolahan serta analisis data. Prosedur dimulai dengan pengisian refrigeran R32 sebanyak 430 gram, sesuai spesifikasi pabrikan pada name plate unit. Uji kinerja dilakukan dengan memvariasikan suhu udara masuk ke evaporator (23°C, 25°C, dan 27°C) serta suhu udara masuk ke kondensor (30°C dan 35°C). Untuk mengatur suhu masuk, digunakan AC bantu dan pemanas eksternal sebagai kontrol lingkungan.

Setelah sistem mencapai kestabilan termal, data diambil setiap lima menit selama satu jam. Prosedur yang sama diterapkan pada pengujian menggunakan refrigeran R290 sebesar 172 gram, yaitu 40% dari massa R32, sesuai standar pengisian refrigeran hidrokarbon. Uji ini juga dilakukan pada parameter suhu yang identik, dengan metode pengambilan data yang sama setelah sistem kembali stabil.

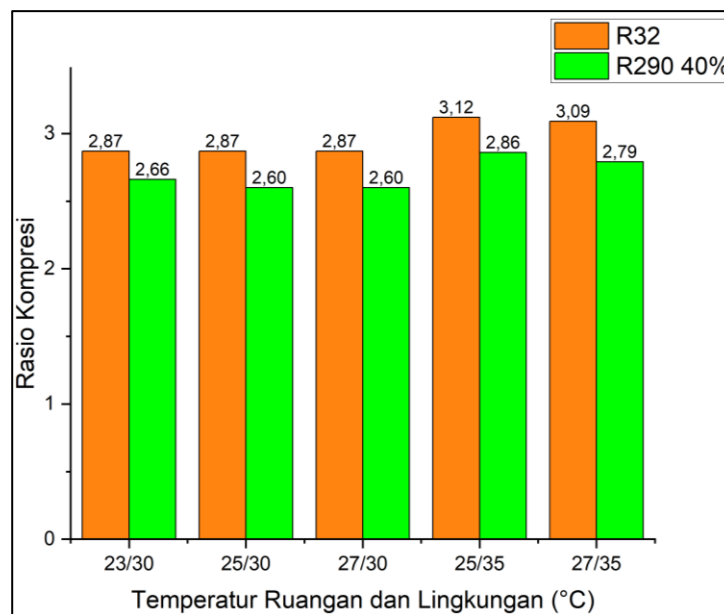
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data tekanan pada sisi buang (*discharge*) dan sisi hisap (*suction*) kompresor secara menyeluruh. Nilai-nilai tekanan ini dicatat dalam berbagai kondisi pengujian temperatur ruang dan lingkungan, dan selanjutnya digunakan untuk menghitung rasio tekanan pada sistem pendingin. Informasi detail mengenai hasil pengukuran tekanan tersebut disajikan dalam Tabel 1, yang menjadi acuan utama dalam analisis rasio kompresi pada penelitian ini.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tekanan

Jenis Refrigeran	Suhu udara masuk evaporator / kondensor (°C)	Tekanan <i>discharge</i> (P_d) (kPa)	Tekanan <i>suction</i> (P_s) (kPa)
R32	23 / 30	3235,4	1125,6
	25 / 30	3269,9	1139,4
	27 / 30	3304,3	1153,2
	25 / 35	3614,6	1160,1
	27 / 35	3649,1	1180,7
R290 40%	23 / 30	1546,2	580,9
	25 / 30	1546,2	594,7
	27 / 30	1546,2	594,7
	25 / 35	1718,5	601,6
	27 / 35	1718,5	615,4

Tekanan pada sisi hisap (P_s) dan sisi buang (P_d) kompresor yang terekam selama uji eksperimen selanjutnya dimanfaatkan untuk menentukan rasio kompresi sistem pendingin melalui persamaan perbandingan P_d/P_s . Hasil perhitungan untuk setiap kondisi pengujian dirangkum pada Gambar 2, yang menampilkan nilai rasio kompresi lengkap.



Gambar 2. Perbandingan rasio kompresi.

Berdasarkan hasil analisis, refrigeran R32 menunjukkan rasio kompresi yang lebih tinggi dibandingkan R290 pada seluruh skenario pengujian yang dilakukan. Rasio kompresi maksimum tercatat sebesar 3,09 untuk R32 saat temperatur

ruang berada pada 27°C dan temperatur lingkungan mencapai 35°C. Sebaliknya, rasio kompresi terendah, yaitu sebesar 2,60, diperoleh dari penggunaan R290 pada temperatur ruang 25°C dan lingkungan 30°C.

Perbedaan ini mengindikasikan bahwa jenis refrigeran memiliki pengaruh langsung terhadap kinerja kompresor, khususnya dalam aspek perbandingan tekanan. Tekanan kerja R32 yang lebih tinggi menghasilkan selisih tekanan yang lebih besar antara sisi hisap dan sisi buang kompresor, sehingga mendorong peningkatan rasio kompresi dan beban kerja sistem. Di sisi lain, R290 yang digunakan dalam jumlah massa lebih sedikit namun pada volume sirkulasi yang sama, menghasilkan tekanan operasi yang lebih rendah. Meskipun R290 memiliki kalor laten penguapan yang besar, nilai tekanan yang rendah berdampak pada karakteristik kompresor dan performa sistem pendingin secara keseluruhan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem AC *split* yang diretrofit dengan refrigeran R290 sebesar 40% massa menunjukkan rasio kompresi yang lebih rendah dibandingkan R32 pada seluruh kondisi pengujian. R32 menghasilkan rasio kompresi tertinggi sebesar 3,09, sedangkan R290 mencapai rasio terendah sebesar 2,60. Perbedaan ini menunjukkan bahwa karakteristik termodinamika refrigeran sangat memengaruhi kinerja kompresor, di mana R32 dengan tekanan kerja lebih tinggi memberikan selisih tekanan lebih besar. Sementara itu, penggunaan R290 yang memiliki tekanan kerja lebih rendah namun kalor laten lebih tinggi, tetap menunjukkan potensi efisien dalam proses perpindahan panas. Hasil ini memberikan dasar bahwa R290 dapat menjadi alternatif refrigeran yang lebih ramah lingkungan untuk sistem pendingin di ruang akomodasi kapal, meskipun memerlukan penyesuaian sistem untuk kinerja optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhatkar, V. W., Sur, A., & Kumar, R. (2023). Study of refrigeration system with minichannel condenser using R1234ze, R134a, R152a, R600a, R290 and mixture of R290/R600a (50/50). *Journal of Process Mechanical Engineering*, 239(2), 616–626. <https://doi.org/10.1177/09544089231193923>
- Calm, J. M., & Domanski, P. A. (2004). R-22 replacement status. *ASHRAE Journal*, 46(8), 29–39.
- Damanik, C. R., & Susilawati. (2023). Analisis Aspek Ergonomi Pada Aktivitas Penangkapan Ikan di Kapal. *Jurnal Ilmiah*, 1(5), 1117–1122.
- Fajar, B., Restu Bagas, P., Ukhi, S., Alhamid, M. I., & Lubis, A. (2020). Energy and exergy analysis of an R410A small vapor compression system retrofitted with R290. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21, 100671.
- Ibrahim, O. A. A. M., Kadhim, S. A., Hammoodi, K. A., Rashid, F. L., & Askar, A. H. (2024). Review of hydrocarbon refrigerants as drop-in alternatives to high-GWP refrigerants in VCR systems: The case of R290. *Cleaner Engineering and Technology*, 23(September), 100825. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100825>
- Issa, A. A. B., Liang, C., Groll, E. A., & Ziviani, D. (2025). Residential heat pump and air conditioning systems with propane (R290) refrigerant: Technology review and future perspectives. *Applied Thermal Engineering*, 266(December 2024), 125560. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.125560>
- Prayogi, U., & Sugiono, R. (2022). Analisis Global Warming Potential (Gwp) Dan Ozone Depletion Potential (Odp), Pada Refrigeran R32, R290, R407C, R410a, Sebagai Pengganti R22. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(1), 14–20.
- Ridwan, Fajar, B., Utomo, T., & Ulum, R. (2023). Experimental study of performance AC split retrofitting R32 to R1270. *AIP Conference Proceedings*, 2706(September 2021). <https://doi.org/10.1063/5.0120267>
- Tanaka, I. R., Fajar, B., Suryo Utomo, T., Yohana, E., & Mustaqim. (2018). Experimental Study Performance R-22 AC Split Retrofitted with Propane. *MATEC Web of Conferences*, 159, 1–6.
- Temaja, I. W. (2018). KAJIAN EKSPERIMENTAL CAMPURAN R-32 / R-290 PENGANTI REFRIGERAN R-32 PADA AC SPLIT DOMESTIK. *Matrix*.
- Wu, J. H. (2012). Experimental performance study of a small wall room air conditioner retrofitted with R290 and R1270. *International Journal of Refrigeration*, 35, 1860–1868.