



ANALISA PERFORMANSI DAN KARAKTERISTIK MESIN PENDINGIN AC SPLIT R-32 DENGAN VARIASI ALAT EKSPANSI

**Royyan Firdaus¹, Supardi², Ninik Martini³, Gatut Prijo Utomo⁴, Shifa Hiamul Avillah⁵,
Muhamad Achmal Triaditya⁶**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
email: royyanf@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Meningkatnya suhu global akibat perubahan iklim semakin mendesak kebutuhan solusi pendingin yang efisien dan ramah. Seiring meningkatnya perubahan gaya hidup, penggunaan AC (Air Conditioner) sangat dibutuhkan untuk kondisi dan era modern sekarang. AC split dengan refrigeran R-32 dilakukan pengujian dengan memvariasikan alat ekspansi dan kecepatan kipas kondensor. Pengujian dilakukan dengan menambah panjang pipa kapiler 0,5m, 1m, 1,5m dan penggunaan sistem TXV. Nilai performansi (COP) yang tertinggi didapatkan pada pipa kapiler 0,5m yaitu 8,26.

Kata kunci: *air conditioning, expansion device, R-32, COP (Coefficient Of Performance)*

ABSTRACT

The rising global temperatures due to climate change are increasingly urgent in demanding efficient and eco-friendly cooling solutions. Along with changing lifestyles, the use of air conditioners (AC) has become essential for modern living conditions and the current era. A split AC using R-32 refrigerant was tested by varying the expansion device and condenser fan speed. The tests involved increasing capillary tube lengths by 0.5m, 1m, 1.5m and using a TXV system. The highest performance value (COP) was achieved with a 0.5m capillary tube reaching 8,26.

Kata kunci: *air conditioning, expansion device, R-32, COP (Coefficient Of Performance)*

PENDAHULUAN

Meningkatnya panas global akibat perubahan cuaca mendorong kebutuhan akan solusi pendinginan yang efisien dan ramah lingkungan. Air Conditioner (AC) telah menjadi kebutuhan pokok di berbagai sektor, terutama di negara tropis seperti Indonesia. AC bekerja dengan menyerap panas dari dalam ruangan dan membuangnya ke luar, namun proses ini dapat meningkatkan suhu lingkungan. Sistem AC terdiri dari kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator. Alat ekspansi berperan penting dalam menurunkan tekanan refrigeran, mengubahnya menjadi campuran cairan dan gas sebelum masuk ke evaporator. Variasi jenis katup ekspansi dan kecepatan putaran kipas kondensor secara signifikan memengaruhi tekanan, suhu refrigeran, serta efisiensi termal sistem.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja AC. Penelitian oleh [1] menunjukkan bahwa variasi katup ekspansi dan laju perpindahan panas kondensor sangat

memengaruhi performa AC. Mereka menemukan bahwa penggunaan pipa kapiler sepanjang 0,5 meter dengan kecepatan kipas kondensor 6,1 m/s menghasilkan laju aliran massa refrigeran yang lebih besar (0,026 kg/s) dan *Coefficient of Performance* (COP) aktual yang lebih tinggi (6,4). Ini menunjukkan bahwa aliran udara yang lebih besar untuk mendinginkan kondensor mengurangi konsumsi daya kompresor, meningkatkan efisiensi.

Sebaliknya, penelitian oleh [2] membandingkan COP antara pipa kapiler dan *Thermostatic Expansion Valve* (TXV) pada sistem pendingin York Water Chiller 2 PK. Hasilnya menunjukkan bahwa TXV menghasilkan COP yang lebih tinggi (3,86-4,01) dibandingkan pipa kapiler (3,59-3,74). Selain itu, TXV mampu mendinginkan air hingga 10°C, sementara pipa kapiler hanya mencapai 12°C, mengindikasikan performa TXV yang lebih baik pada sistem water chiller.

Studi lain oleh [3] fokus pada variasi putaran kipas kondensor menggunakan refrigeran R-22. Mereka menyimpulkan bahwa semakin cepat aliran udara, semakin tinggi COP sistem karena pelepasan kalor yang lebih tinggi, yang menurunkan suhu kondensor. Penurunan suhu ini memungkinkan sistem mencapai suhu evaporator yang lebih rendah dan meringankan kerja kompresor.

Berdasarkan latar belakang ini, studi eksperimen yang akan dilakukan bertujuan untuk memodifikasi AC split ¾ PK yang menggunakan refrigeran R-32. Modifikasi akan dilakukan dengan memvariasikan jenis komponen katup ekspansi, yaitu *Thermostatic Expansion Valve* (TXV) dan pipa kapiler

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Refrigerasi

Siklus refrigerasi adalah siklus yang merubah panas dari media yang memiliki temperatur rendah ke media yang memiliki temperatur lebih tinggi dengan menggunakan kerja dari luar sistem[4]. Dalam sistem pendingin udara panas yang diserap dari udara harus bersentuhan dengan material yang suhunya lebih rendah[5]. Sistem refrigerasi kompresi uap adalah jenis sistem pendinginan yang bekerja dengan menggunakan kompresor untuk menaikkan tekanan dan suhu refrigeran yang berfase gas setelah keluar dari evaporator (suction line). Dalam proses ini, refrigeran yang awalnya memiliki tekanan dan suhu rendah dikompresi sehingga tekanannya menjadi lebih tinggi, menyebabkan kenaikan suhu yang signifikan. Sistem ini banyak digunakan dalam aplikasi pendinginan seperti AC, lemari es, dan freezer. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator, yang bekerja secara bersinergi dalam siklus tertutup[6].

Refrigerant R-32

Refrigeran R-32 yang juga dikenal sebagai *difluoromethane* memiliki karakteristik kinerja yang mirip dengan R-410A, namun dengan *Coefficient of Performance* (COP) yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh suhu kritis R-32 yang sedikit lebih tinggi dibandingkan R-410A. R-32 dianggap sebagai salah satu refrigeran terbaik di antara alternatif lainnya karena memiliki nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang paling rendah serta *Ozone Depletion Potential* (ODP) sebesar nol.[7]

Berdasarkan klasifikasi ISO 8187, R-32 termasuk dalam kategori A2L, yang berarti memiliki tingkat toksisitas rendah dan sifat mudah terbakar yang rendah pula. Hal ini memungkinkan refrigeran ini untuk digunakan secara luas. Selain itu, R-32 dapat didaur ulang dan digunakan kembali dengan mudah. Bahkan jika terjadi kebocoran, tidak akan terjadi perubahan komposisi gas karena R-32 merupakan refrigeran dengan satu komponen (*single component refrigerant*)[8].

Dalam studi yang dilakukan oleh NIT Surathkal, analisis termodinamika menunjukkan bahwa R-32 memiliki COP yang lebih tinggi, yaitu hingga 15,92%, sementara R-134a menunjukkan peningkatan COP sebesar 11,71% dalam perbandingan terhadap enam refrigeran lain, yaitu R-22, R-152a, R-290, R-600a, R-1234yf, dan R-513a. Evaluasi dilakukan menggunakan sistem *Vapor Compression System (VCS)* standar[9].

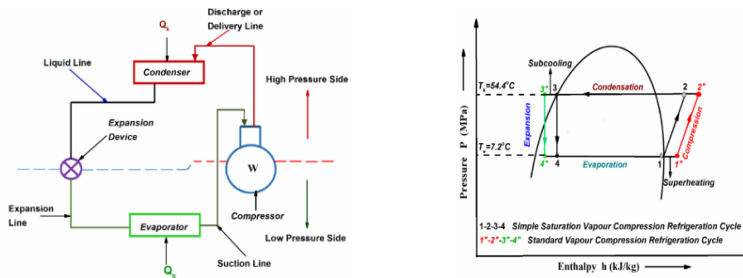
Keunggulan Penggunaan Refrigeran R-32:

- Tidak merusak ozon (ODP = 0) dan GWP-nya hanya sekitar sepertiga dari GWP R-410A.
- Memerlukan muatan refrigeran yang lebih sedikit karena kapasitas pendinginan volumetrik R-32 sekitar 22% lebih tinggi.
- Mudah dikembangkan sebagai pengganti R-410A karena tekanan jenuhnya yang serupa.
- COP lebih tinggi dibandingkan R-410A karena suhu kritis yang lebih tinggi.
- Jumlah muatan yang dibutuhkan lebih kecil karena densitasnya yang rendah.
- Lebih mudah diproduksi dan ditangani karena merupakan refrigeran tunggal (bukan campuran).
- Enthalpy penguapan R-32 yang lebih tinggi menyebabkan kebutuhan laju aliran massa lebih kecil untuk menghasilkan kapasitas pendinginan yang sama, sehingga meningkatkan efisiensi sistem (COP).
- Kapasitas pendinginan volumetrik yang lebih tinggi memungkinkan penggunaan pipa berdiameter lebih kecil dan meningkatkan efisiensi desain sistem.
- Meskipun R-32 termasuk refrigeran yang mudah terbakar, tingkat kemudahannya masih lebih rendah dibandingkan hidrokarbon, sehingga tetap aman untuk aplikasi industri dan rumah tangga dengan penanganan yang tepat.

Tabel 1 Perbandingan Spesifikasi Jenis Refrigerant

No.	Jenis Refrigeran	ODP	GWP	Molecular mass	Critical Temperatur (C)	Critical Pressure (Kpa)
1	R11	10.820	4750	137.4	197.96	4408
2	R12	0.055	10680	120.9	111.97	4136
3	R22	0	1810	86.5	96.14	4990
4	R134a	0	1430	102	101.06	4059
5	R410a	0	2088	72.6	70.17	4770
6	R32	0	675	52	78.11	5782

Sumber: *Jurnal R-32 The Future Refrigerants* (2020)[7]



Gambar 1 Siklus refrigrasi kompresi uap standar dan Diagram P-h
Sumber: NITK Surathkal International Jurnal [9]

Siklus Kompresi Uap Standar

Siklus kompresi uap standar terdiri dari empat proses utama yang saling berurutan ditunjukkan pada gambar 1, Pendingin udara bekerja berdasarkan prinsip sistem pendingin kompresi uap.

- Proses 1–2: Kompresi Isentropik
Refrigeran dalam bentuk uap jenuh dihisap oleh kompresor dan dikompresi secara isentropik menjadi uap superpanas (*superheated vapor*) bertekanan tinggi. Proses ini meningkatkan temperatur dan tekanan refrigeran tanpa pertukaran panas dengan lingkungan, sesuai asumsi proses adiabatik reversibel yang dijelaskan dalam ASHRAE Fundamentals[10].
- Proses 2–3: Kondensasi Isobarik
Proses kondensasi terjadi pada tekanan yang sama (Isobarik). Dalam proses ini terjadi pelepasan kalor mengakibatkan terjadi penurunan suhu dan enthalpy refrigeran sampai dengan saturasi gas[11]. Selama proses ini, panas dilepaskan ke media pendingin (udara atau air), menyebabkan refrigeran berubah dari fasa uap menjadi fasa cair jenuh.
- Proses 3–4: Ekspansi Isoentalpi
Refrigeran cair jenuh melewati alat ekspansi dan mengalami penurunan tekanan secara isoentalpi. Proses ini menghasilkan campuran fasa cair dan uap dengan temperatur lebih rendah, sesuai prinsip throttling yang dikemukakan dalam [10].
- Proses 4–1: Evaporasi Isobarik
Campuran uap-cair masuk ke evaporator dan menyerap panas dari udara ruangan. Proses ini menyebabkan refrigeran menguap sepenuhnya menjadi uap jenuh pada tekanan konstan. Udara yang melewati evaporator mengalami pendinginan. Uap jenuh yang dihasilkan kemudian dihisap kembali oleh kompresor, dan siklus berulang

Persamaan yang digunakan

1. Laju aliran massa refrigeran (\dot{m}_{ref})

$$\begin{aligned}
 Q_{lepas} &= Q_{terima} \\
 \dot{m}_{ref} \cdot (h_2 - h_3) &= Q_{udara} \\
 \dot{m}_{ref} \cdot (h_2 - h_3) &= \dot{m}_{udara} \cdot Cp \cdot \Delta T \\
 \dot{m}_{ref} &= \frac{(\rho_{udara} \cdot V \cdot A) \cdot Cp \cdot (T_{out} - T_{in})}{(h_2 - h_3)} \dots \dots \dots (1.1)
 \end{aligned}$$

2. Kerja Nyata Kompresor (W)

$$W = \dot{m}_{ref} (h_2 - h_1) \dots \dots \dots (1.2)$$

3. Kalor yang dilepas kondensor (Qc)

$$Q_c = \dot{m}_{ref} (h_2 - h_3) \dots \dots \dots (1.3)$$

4. Kalor yang diserap evaporator (Qe)

$$Q_e = \dot{m}_{ref} (h_1 - h_4) \dots \dots \dots (1.4)$$

5. Heat Rejection Ratio (HRR)

$$HRR = \frac{Q_c}{Q_e} = \frac{\dot{m}_{ref}(h_2-h_3)}{\dot{m}_{ref}(h_1-h_4)} \dots \dots \dots (1.5)$$

6. COP Aktual sistem refrigerasi COP (*Coefficient Of Performance*)

$$COP_{aktual} = \frac{Q_e}{W} = \frac{\dot{m}_{ref}(h_1-h_4)}{\dot{m}_{ref}(h_2-h_1)} \dots \dots \dots (1.6)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Data Perhitungan Enthalpi dan Karakteristik

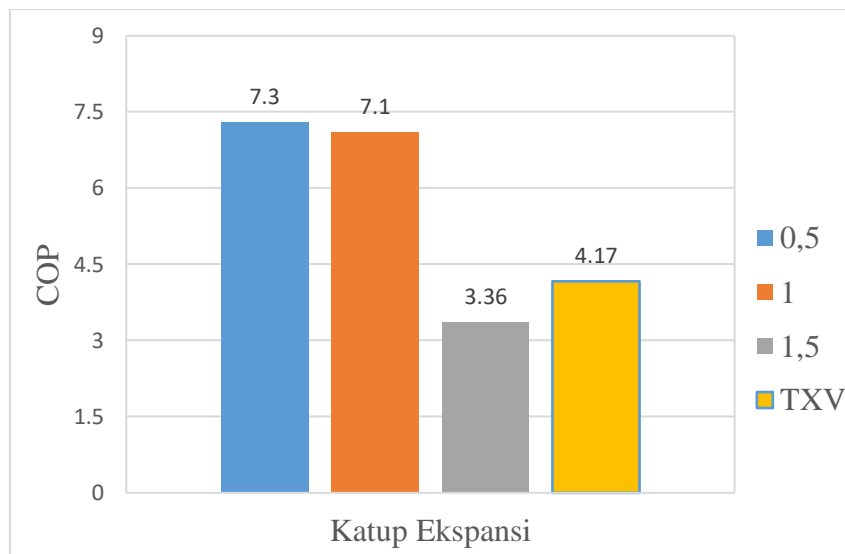
Pengujian pada mesin pendingin telah dilakukan dengan mengukur *pressure* dan *temperatur* dengan R-32 sebagai fluida kerja. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Parameter kinerja Mesin pendingin R-32 Siklus Kompresi Uap

Katup Ekspansi	Enthalpi (kJ/kg)			W (kW)	Qe (kW)	Qc (kW)	HRR	COP
	h_1	h_2	$h_3 = h_4$					
0,5 m	516,631	552,861	283,283	0,405	2,974	3,435	1,155	7,3
1 m	516,631	552,872	288,399	0,408	2,908	3,370	1,159	7,1
1,5 m	515,110	582,049	316,556	0,752	2,530	3,383	1,337	3,36
TXV	515,110	574,251	297,360	0,665	2,775	3,529	1,272	4,17

Pembahasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performa dan karakteristik sistem pendingin tipe AC split yang menggunakan refrigeran R-32. Fokus utama penelitian adalah membandingkan kinerja sistem dengan menggunakan berbagai variasi alat ekspansi, yaitu pipa kapiler dengan beberapa panjang berbeda dan katup ekspansi termostatik (TXV), dikombinasikan dengan variasi kecepatan kipas kondensor. Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang lebih spesifik mengenai konfigurasi sistem mana yang memberikan efisiensi terbaik serta kinerja termal paling optimal.

Coeffisient Of Performance (COP)

Gambar 2 Grafik COP Mesin Pendingin

Grafik yang disajikan menunjukkan tren nilai Coefficient of Performance (COP) yang cenderung stabil untuk berbagai kondisi pembebanan, baik pada sistem dengan alat ekspansi *Thermostatic Expansion Valve* (TXV) maupun pipa kapiler terjadi tren kenaikan seiring bertambahnya kecepatan kipas kondensor. Nilai COP tertinggi terdapat pada katup ekspansi jenis pipa kapiler dengan panjang 0,5m sebesar 8,26 pada kecepatan kipas 6,2m/s, sedangkan nilai terendah terdapat pada katup ekspansi jenis pipa kapiler dengan panjang 1,5m sebesar 2,95 pada kecepatan kipas 4,8m/s.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap sistem refrigerasi dengan variasi alat ekspansi (pipa kapiler 0,5 m, 1 m, 1,5 m dan TXV, diperoleh beberapa temuan utama sebagai berikut:

- Coefficient of Performance* (COP) menunjukkan tren penurunan seiring penambahan panjang pipa kapiler. COP tertinggi terjadi pada sistem dengan pipa kapiler 0,5 m dengan nilai 7,3. Nilai terendah terdapat pada pipa kapiler 1,5m dan sistem TXV dengan nilai 3,36 dan 4,17.
- Secara umum, sistem refrigerasi dengan pipa kapiler 0,5 m memberikan kinerja termal terbaik dalam hal kapasitas pendinginan dan efisiensi energi, ditandai dengan COP yang meningkat saat laju aliran udara lebih besar

Saran kedepannya adalah pada penggunaan pipa kapiler perlu diperhatikan kondisi agar sistem sirkulasi berjalan dengan baik dan alakukan proses flushing untuk membersihkan bekas pengelasan. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mengoptimalkan diameter pipa kapiler yang sesuai dengan AC split yang asli dan sistem TXV dengan variasi oriface yang lainnya. Dan dilakukan analisis lebih lanjut pada aspek durabilitas sistem, variasi beban termal, serta pengaruh jenis refrigeran lain (misalnya R-1234yf atau R-290) terhadap performa sistem, agar diperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh dalam pengembangan sistem pendingin yang efisien dan ramah lingkungan

REFERENSI

- [1] M. R. Fatchurahman, M. C. Sakti, and R. Firdaus, “Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI KATUP EKSPANSI DAN KARAKTERISTIK DAN PERFORMANSI MESIN PENDINGIN AC SPLIT R-22,” vol. 5, no. 2, pp. 1–10, 2024.
- [2] A. Fazri and B. Maryanti, “Analisa Karakteristik Katup Ekspansi Termostatik Dan Pipa Kapiler Pada Sistem Pendingin Water Chiller,” *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 4, no. 1, pp. 18–25, 2016, doi: 10.32487/jtt.v4i1.124.
- [3] S. Siagian, “ANALISIS KARAKTERISTIK UNJUK KERJA KONDENSOR PADA SISTEM PENDINGIN (AIR CONDITIONING) YANG MENGGUNAKAN FREON R-134 a BERDASARKAN PADA VARIASI PUTARAN KIPAS PENDINGIN,” *Bina Tek.*, vol. 11, no. 2, p. 124, 2017, doi: 10.54378/bt.v11i2.104.
- [4] T. Pipit Mulyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, “濟無No Title No Title No Title,” *J. GEEJ*, vol. 7, no. 2, 2020.
- [5] F. A. Pratama, W. H. Mitrakusuma, Muhamad Anda Falahuddin, and W. S. Ayu, “Kajian kinerja sistem refrigerasi menggunakan refrigeran R32, R22 dan R1270 menggunakan REFPROP,” *Pros. 12th Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, pp. 472–477, 2021.
- [6] S. M. Irsyad and A. B. K. Putra, “Studi Eksperimen Unjuk Kerja Sistem Refrigerasi Single State Dengan Variasi Expansion Device,” *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 1, pp. B112–B116, 2018.
- [7] A. Pawar, R. Patil, and U. Shah, “R32 the Future Refrigerant R32-THE FUTURE REFRIGERANT,” 2020.
- [8] F. O. R. Standardization and D. E. Normalisation, “International Standard Iso,” vol. 1987, 1987.
- [9] S. V. Shaik and T. P. A. Babu, “Thermodynamic performance analysis and flammability study of various new ozone friendly non azeotropic refrigerant mixtures as alternatives to replace R22 used in residential air conditioners,” *Int. J. Heat Technol.*, vol. 36, no. 4, pp. 1470–1481, 2018, doi: 10.18280/ijht.360441.
- [10] ASHRAE, “ASHRAE Fundamental Handbook,” *Atlanta*, p. 30, 2001.
- [11] C. Syahri Romadhon, “Analisis Coeffisient Of Peformance (COP) Dan Energy Efficiency Ratio (EER) Pada AC Split Inverter Kapasitas ½ PK Dengan Menggunakan Freon R-22 dan Freon R-32,” vol. 7, no. 1, 2023.
- [12] A. Amrullah, Z. Djafar, and W. H. Piarah, “Analisa Kinerja Mesin Refrigerasi Rumah Tangga Dengan Variasi Refrigeran,” *JTT (Jurnal Teknol. Ter.)*, vol. 3, no. 2, pp. 7–11, 2017, doi: 10.31884/jtt.v3i2.55.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN