Retrofitting Mesin Pompa Kalor untuk Menunjang Proses Pembelajaran Berbasis *Dual System* di Laboratorium Permesinan Fluida

Benedicta Dian Alfanda[1], George Endri Kusuma[2], Projek Priyonggo[3], Nopem Ariwiyono[4], Zulfa Maulana[5]
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya[1,2,3,4,5]
Jalan Teknik Kimia, Sukolilo, Surabaya, Indonesia 60111
Email: benedictadian@ppns.ac.id

ABSTRACT

The heat pump tester retrofitting process is the process of replacing the refrigerant in the cooling engine with a different type of refrigerant. The retrofitting process is carried out by replacing the R-12 refrigerant with R-134a in the air conditioning system with pre-cooling. The aim of this retrofitting is, among other things, to improve the performance of the cooling machine and make it more environmentally friendly. This retrofitting process involves replacing the primary refrigerant that was originally used with the desired refrigerant, as well as adjusting the system to suit the characteristics of the new refrigerant used. As part of the learning process for students in the Ship Engineering Department at PPNS, the use of R12 refrigerant has been prohibited both in practice on campus and in actual use on ships. So as an alternative replacement, R-134a refrigerant is used which complies with ship class standards issued by the Indonesian Classification Bureau (BKI) in its use as stated in BKI Rules Part I Seagoing Ships Volume VIII Rules for Refrigerating Installations Section 1.1 Approved Refrigerants. From the retrofitting process carried out, it was found that the heat pump engine performance increased by 12% in the COP power factor in each test area. And the retrofitting process shows more optimal results, so that further learning can use the environmentally friendly refrigerant R-134a.

Kata kunci: *retrofitting, heat pump tester, engine performance, refrigerant*

ABSTRAK

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 R-134a 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.
Kata kunci: *retrofitting, mesin pompa kalor, performa mesin, refrigerant*

PENDAHULUAN

Refrigeran adalah bahan yang sering dipakai oleh mahasiswa ketika mengikuti pembelajaran dalam kuliah Praktikum Sistem Pendingin di Laboratorium Mesin Fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Bahan ini memiliki peran vital sebagai fluida kerja yang bertugas untuk mentransfer panas (Mutaufiq dkk, 2019). Refrigeran yang sering digunakan di laboratorium tersebut adalah jenis refrigeran sintetis. Contohnya, pada Mesin Tes Pompa Kalor yang menggunakan refrigeran R12, yang termasuk dalam kategori refrigeran sintetis.

ISSN 2775-5630

Refrigeran R12, yang merupakan jenis refrigeran sintetis, ditemukan pada tahun 1930-an dan diproduksi oleh DuPont Corporation. Komponen utamanya adalah Chloro Fluoride Carbonate, atau sering disebut CFC. Refrigeran ini tidak beracun, tidak mudah terbakar, dan memiliki harga yang terjangkau. Namun, meski memiliki beberapa keunggulan tersebut, refrigeran jenis ini juga memiliki dampak negatif pada lingkungan. Salah satunya adalah merusak lapisan ozon dan berkontribusi pada pemanasan global. Menurut beberapa literatur, refrigeran sintetis yang banyak digunakan ini memiliki nilai ODP (Ozone Depletion Potential) dan GWP (Global Warming Potential) yang tinggi (Mutaufiq dkk, 2019). Refrigeran sintetik jenis R 12 merupakan refrigeran dengan nilai ODP dan GWP yang sangat tinggi (Harby, 2017).

Pada tahun 1997, Pemerintah Indonesia mengeluarkan KEPRES RI 23/1992 untuk membatasi penggunaan R12 karena dampak negatifnya terhadap lingkungan dan makhluk hidup. Aturan ini mengakibatkan pembatasan penggunaan peralatan yang masih menggunakan refrigeran sintetis R12, termasuk Mesin Tes Pompa Kalor di Laboratorium Mesin Fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang biasanya menggunakan refrigeran R12 sesuai standar.

Agar dapat menggunakan alat Mesin pompa kalor Test pada laboratorium sesuai dengan anjuran pembatasan penggunaan refrigeran R 12, diputuskan untuk mengganti refrigerannya dengan refrigeran yang lebih ramah lingkungan. Sehingga dilakukan retrofit refrigeran pada mesin pompa kalor dengan refrigeran R134a. Refrigerant R134a, memiliki nama kimia 1.1.1.2 Tetrafluoroethane (HFC-134a), dimana tidak ada unsur klorin (CL) dalam senyawa tersebut sehingga kadar polutan nya lebih rendah sekaligus alternatif yang lebih rendah nilai ODP (*Ozon Depleting Potential*) yang lebih rendah dibandingkan dengan Refrigerant R12. Refrigeran ini diperkenalkan sebagai pengganti Refrigerant R12 ketika kesadaran tentang efek negatifnya terhadap lapisan ozon semakin meningkat. Penggunaan Refrigerant R134a membantu melindungi lapisan ozon yang sangat penting bagi kehidupan di bumi. Selain itu, Refrigerant R134a memiliki Potensial Pemanasan Global (PPG) yang rendah. Dengan PPG yang rendah, Refrigerant R134a memiliki dampak lebih kecil terhadap perubahan iklim jika terlepas ke atmosfer.

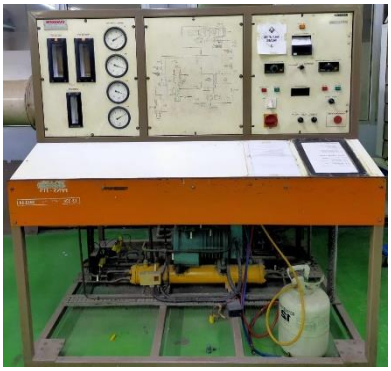
Akan tetapi dengan penggantian ini juga perlu diikuti dengan penggantian beberapa komponen seperti : oli kompresor, seal dan packing kompresor, filter dryer, dan jenis expansion valve nya. Dengan melakukan penggantian komponen tersebut diatas akan mendukung performa dari refrigrant yang digunakan. Sehingga output yang dihasilkan oleh mesin head pump test akan lebih maksimal.

Tujuan dari penelitian ini adalah dapat digunakannya kembali modul mesin pompa kalor test dengan refrigeran yang lebih aman dan ramah lingkungan serta didapat kinerja yang optimal ketika menggunakan refrigran R134a. Dengan demikian perlu dilakukan analisa teknis dan perhitungan perpindahan panas dari refrigeran R134a yang diinjeksikan ke dalam sistem mesin pompa kalor test.

TINJAUAN PUSTAKA

Prinsip Kerja Mesin Pompa Kalor

Pompa kalor adalah perangkat yang dapat mendinginkan atau memanaskan ruangan. Evaporator dapat berfungsi sebagai pendingin atau sebagai pemanas dengan menggunakan katup pembalik. Dengan sistem ini, panas yang dilepaskan oleh kondensor dimanfaatkan untuk memanaskan ruangan sehingga tidak terbuang ke lingkungan..

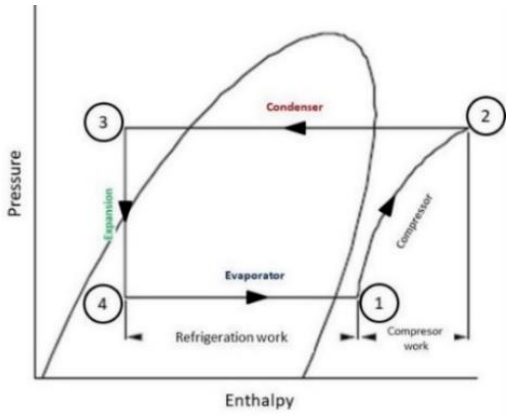


Gambar 1. Mesin Pompa Kalor di PPNS

ISSN 2775-5630

Prinsip kerja mesin pompa kalor adalah sebagai berikut :

1. Fan mengarahkan udara dari lingkungan ke evaporator, yang menyerap kalor dari udara tersebut. Refrigerant yang awalnya cair menguap di evaporator menjadi gas selama proses penguapan. Kalor yang diserap oleh refrigerant di evaporator kemudian disalurkan menuju kompresor.
2. Proses kompresi terjadi di kompresor, yang menaikkan suhu dan tekanan refrigerant menjadi gas dengan tekanan dan suhu yang tinggi. Selanjutnya, gas ini dialirkan ke kondesor, juga dikenal sebagai heat exchanger.
3. Selanjutnya, air dipanaskan oleh heat exchanger. Pada titik ini, suhu panas dari refrigerant dipindahkan atau dilepaskan dari air yang mengalir ke heat exchanger, sehingga air yang keluar dari heat exchanger menjadi panas. Refrigerant yang berasal dari gas di kondensor kemudian berubah menjadi cair.
4. Aliran refrigerant melewati kondensor untuk memindahkan panas atau kalor. Kemudian, refrigerant cair dengan tekanan yang masih tinggi dan suhu yang lebih rendah dialirkan menuju pipa kapiler, yang juga dikenal sebagai pipa ekspansi.
5. Proses penurunan tekanan refrigerant terjadi pada pipa kapiler. Pada tahap ini, refrigerant cair dengan suhu dan tekanan yang rendah dialirkan kembali ke evaporator. Proses ini mendinginkan refrigerant pada mesin pompa kalor sistem.
6. Setelah evaporator menyerap kalor dari udara kembali, refrigerant berubah menjadi gas dengan tekanan rendah dan suhu rendah. Selanjutnya, refrigerant dialirkan kembali ke kompresor.



Gambar 2. Diagram Tekanan - Entalpi

Gambar 2 Menurut Jurnal Baut dan Manufaktur Vol. 02, No. 02, Oktober 2020, diagram tekanan-entalpi menunjukkan bahwa proses 1-2 adalah saat refrigeran berubah menjadi uap dan tekanannya meningkat, diikuti oleh peningkatan suhu yang disebut sebagai kompresi. Pada proses 2-3, suhu turun dari gas panas menjadi gas jenuh karena refrigeran kehilangan panas ke lingkungan yang menyebabkan suhunya lebih tinggi daripada lingkungan. Proses kondensasi terjadi pada proses 3-4, di mana gas jenuh berubah menjadi cair pada suhu dan tekanan konstan, dengan panas mengalir dari kondensor ke lingkungan karena kondensor lebih panas daripada udara sekitarnya. Refrigeran cair dari kondensor melewati katup ekspansi untuk menurunkan tekanan, dan ini juga menurunkan suhunya pada proses 4-5, sehingga suhu refrigeran lebih rendah daripada lingkungan. Pada tahap ini, refrigeran mengalami perubahan fasa menjadi campuran gas dan cair, kemudian masuk ke evaporator di mana refrigeran menguap dan menyerap panas dari ruangan yang didinginkan. Proses ini berlangsung secara terus-menerus.

Refrigeran Hidrokarbon

Perkembangan teknologi dalam industri mesin pendingin mencakup penemuan berbagai jenis refrigeran yang dapat menghasilkan efisiensi energi, salah satunya adalah peralihan dari penggunaan refrigeran sintetis ke alami, seperti hidrokarbon.

Sifat fisik dan termodinamika refrigeran memiliki banyak faktor, namun yang paling berpengaruh terhadap efisiensi penghematan energi listrik hanya beberapa saja, seperti massa jenis, kekentalan, dan perilaku tekanan pada suhu tinggi. Secara umum, jika dibandingkan antara hidrokarbon dan sintetis, massa jenisnya lebih rendah, kekentalannya juga lebih rendah, dan perilaku tekanannya di kondensor juga lebih rendah. Ketiga faktor ini berkontribusi pada konsumsi energi listrik pada mesin pendingin yang lebih rendah..

ISSN 2775-5630

Refrigeran hidrokarbon memiliki sifat fisik dan termodinamika yang lebih superior dibandingkan dengan refrigeran sintetik. Sehingga, jika menggunakan refrigeran hidrokarbon dalam mesin pendingin, akan meningkatkan kinerja mesin pendingin dibandingkan dengan penggunaan refrigeran sintetik. Salah satu indikator kinerja tersebut adalah efisiensi penghematan konsumsi energi listrik..

Refrigerant Properties

Parameter yang berkaitan dengan efek penghematan energi dari refrigerant hidrokarbon adalah sifat Fisika dan termodinamika bahan seperti ditunjukan dalam tabel-1.

Tabel-1 : Data sifat Fisika dan Termodinamika refrigerant Hidrokarbon

PROPERTIES	R-12	R134a
Chemical Formula	CF_2CL_2	CH_2FCF_3
Lubricant	Mineral oil	Polyester
Normal Boiling Point (°C)	-29,8	-26,1
Critical Pressure (bar)	41,15	40,59
Critical Temperature (°C)	112	101,1
Critical Density (Kg/m^3)	558	511,9
Molecular Weight (Kg/Kmol)	129,93	102,02
Latent heat of evaporation (kJ/kg)	165,1	215,9

Proses Retrofitting

Dalam proses pengembangan penelitian retrofit dari refrigerant R-12 ke R-134a ini, beberapa tahapan perlu dilalui. Perlengkapan yang dibutuhkan untuk mendukung penelitian termasuk katup ekspansi termostatik, konektor, pompa vakum, filter pengering, dan satu set kunci ring. Sementara itu, bahan yang diperlukan mencakup nitrogen, R-134a, dan air berbuih untuk menguji kebocoran dalam sistem.

Recover System

Tahapan awal adalah mengeluarkan refrigeran R-12 dari mesin uji pompa panas menggunakan perangkat pemulihan refrigeran yang telah disetujui. Ini sangat penting agar mencegah zat yang merusak lapisan ozon terlepas ke atmosfer.



Gambar 3. Proses Recover System

Flushing System

Setelah mengosongkan refrigeran R-12, bersihkan sistem mesin uji pompa panas dengan menggunakan cairan pelarut untuk menghilangkan sisa-sisa refrigeran dan kontaminan.

ISSN 2775-5630



Gambar 4. Proses Flushing

Penggantian filter drier

Penggantian filter pengering baru bertujuan untuk mencegah kelembapan atau kotoran masuk ke dalam sistem. Proses pengisian sistem menggunakan R-134a dilakukan dengan menghubungkan tabung zat pendingin R-134a ke mesin uji pompa panas, dan mengisi sistem secara bertahap dengan jumlah zat pendingin yang direkomendasikan oleh pabrikan..



Gambar 5. Proses Pengisian Sistem dengan Refrigerant R-134a

Pengujian Performa Setelah Retrofit Refrigerant

Maksud penggantian filter pengering baru adalah agar sistem terhindar dari masuknya kelembapan atau kotoran. Pengisian sistem dengan R-134a dilakukan dengan menyambungkan tabung zat pendingin R-134a ke mesin uji pompa panas, kemudian mengisi sistem secara bertahap dengan jumlah zat pendingin sesuai rekomendasi pabrikan.

Analisis Kinerja

Setelah semua proses retrofit dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis performa mesin mesin pompa kalor test. Diharapkan dengan retrofit ini, sistem lebih hemat daya, terjadi peningkatan performa dari sistem dan tentunya lebih ramah terhadap lingkungan dengan tidak merusak lapisan ozon dan tidak menyebabkan global warming. Analisis kerja system dilakukan dengan pengecekan melalui perhitungan :

COP (Coefficient of Performance)

$$COP = \frac{Q_{evaporator}}{W_{Aktual\ Kompresor}} \quad (1)$$

Dimana:

Q Evaporator= Beban pendinginan yang ditanggung oleh evaporator (kW)
W Aktual Kompressor= Kerja aktual yang dilakukan kompressor (kW)

Q Evaporator

$$Q = (h_{out\ evap}\text{-}h_{in\ evap})\ x\ \dot{m} \quad (2)$$

Dimana:

h $_{out\ evap}$ = Nilai enthalpi refrigerant saat keluar dari evaporator $(\frac{kj}{kg})$

h $_{in\ evap}$ = Nilai enthalpi refrigerant saat masuk ke evaporator $(\frac{kj}{kg})$

ṁ =Nilai massflow rate dari refrigeran $(\frac{kg}{s})$

W Kompressor

$$W_{Ideal} = (h_{id\ out\ comp} - h_{in\ comp})\ \times \dot{m} \quad (3)$$

Dimana:

h $_{id\ out\ comp}$ = Nilai enthalpi refrigeran saat keluar dari kompressor pada kondisi ideal $(\frac{kj}{kg})$

h $_{in\ comp}$ = Nilai enthalpi refrigeran saat masuk ke kompressor $(\frac{kj}{kg})$

ṁ = Nilai massflow rate dari refrigeran $(\frac{kg}{s})$

$$W_{Aktual} = (h_{act\ out\ comp} - h_{in\ comp})\ \times \dot{m} \quad (4)$$

Dimana:

h $_{act\ out\ comp}$ = Nilai enthalpi refrigeran saat keluar dari kompressor pada keadaan aktual $(\frac{kj}{kg})$

h $_{in\ comp}$ = Nilai enthalpi refrigeran saat masuk ke kompressor $(\frac{kj}{kg})$

ṁ = Nilai massflow rate dari refrigeran $(\frac{kg}{s})$

METODE

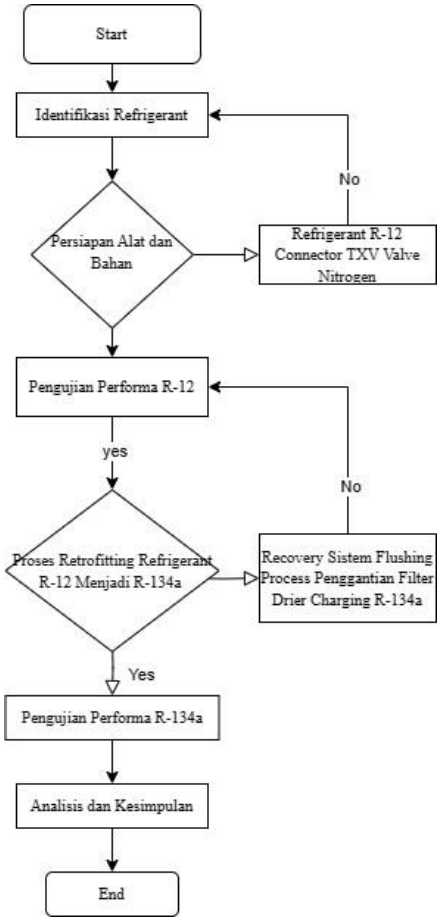
Dalam pengembangan penelitian retrofit refrigerant R-12 menjadi R-134a ini, terdapat beberapa proses yang harus dilalui, yaitu :

a. Persiapan Alat dan Bahan
   Alat-alat yang dibutuhkan untuk mendukung jalannya penelitian adalah thermostatic expansion valve, connector, pompa vakum, filter drier dan 1 set kunci ring. Sedangkan bahan yang dibutuhkan antara lain adalah nitrogen, R-134a, dan air sabun untuk pengujian kebocoran sistem.
b. Proses Recover System
   Merupakan suatu proses mengeluarkan refrigerant lama keluar dari system, untuk mencegah pelepasan zat perusak ozon
c. Proses Flushing System
   Merupakan proses pengurasan system untuk memastikan bahwa system sudah tidak terkontaminasi refrigerant lama, dengan menggunakan nitrogen bertekanan yang diinjeksikan pada system. Sehingga system siap untuk diisi dengan refrigerant yang baru.
d. Penggantian komponen untuk kesesuaian dengan refrigerant yang baru
   Dengan penggantian tipe refrigerant ini, maka perlu penggantian komponen-komponen tertentu dengan menyesuaikan requirement pada refrigerant baru. Beberapa komponen yang perlu diganti diantaranya filter drier dan katup ekspansi.
e. Pengisian system dengan refrigerant baru

ISSN 2775-5630

Merupakan proses penginjeksian refrigerant baru ke dalam system setelah dilakukan proses flushing dengan nitrogen

Berikut ditampilkan diagram alir proses pengerjaan penelitian seperti disajikan di bawah ini :



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Q Evaporator (Refrigeration Effect)

Pada tabel 2 menunjukkan nilai Q Evaporator sebelum dilakukan retrofit dan sesudah dilakukan retrofit pada mesin mesin pompa kalor test saat beroperasi pada mode air side dengan tiga variasi fan speed.

Tabel 2. Nilai Q Evaporator Pada Mode Air Side

Fan Speed	Q Evap R12 (kW)	QEvap R134a (kW)
1	6,05	7,06
2	5,90	7,41
3	5,38	7,67

Dari tabel 2, dapat disimpulkan bahwa sebelum dilakukan retrofit, nilai Q evaporator menunjukkan tren yang berlawanan dengan kecepatan kipas; semakin tinggi kecepatan kipas, semakin rendah nilai Q evaporator. Namun, setelah retrofit dilakukan, karakteristiknya berubah, dengan nilai Q evaporator meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan kipas. Selain itu, nilai Q evaporator sebelum retrofit lebih rendah daripada setelah retrofit, menunjukkan peningkatan kemampuan evaporator dalam menyerap beban panas. Peningkatan tersebut adalah sebesar 17% pada kecepatan kipas 1, 26% pada kecepatan kipas 2, dan 43% pada kecepatan kipas 3.

W (Work) Kompressor

Pada tabel 3 menunjukkan nilai W Kompressor sebelum dilakukan retrofit dan sesudah dilakukan retrofit pada mesin mesin pompa kalor test saat beroperasi pada mode air side dengan tiga variasi fan speed.

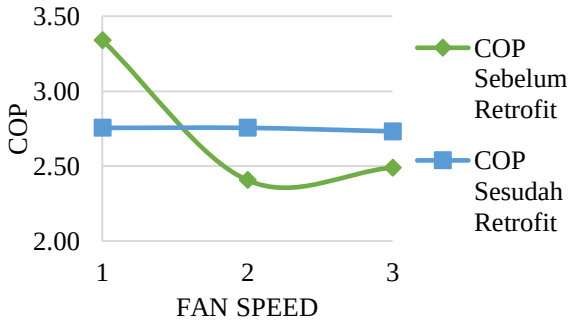
Tabel 3. Nilai W Ideal Kompressor, W Aktual, dan Efisiensi Isentropic Kompressor Pada Mode Air Side

Fan Speed	R 12			R134a		
	W Ideal (kW)	W Aktual (kW)	η	W Ideal (kW)	W Aktual (kW)	η
1	1,65	1,81	91%	1,49	2,56	58%
2	1,45	2,45	59%	1,57	2,69	58%
3	1,35	2,16	63%	1,64	2,80	58%

Dari tabel 3, dapat disimpulkan bahwa sebelum diretrofit, kerja kompresor pada mode air side memiliki efisiensi isentropik sebesar 91% pada kecepatan kipas 1, 59% pada kecepatan kipas 2, dan 63% pada kecepatan kipas 3. Hal ini menunjukkan bahwa dengan peningkatan kecepatan kipas, efisiensi isentropik kompresor cenderung menurun. Setelah dilakukan retrofit, efisiensi isentropik kompresor tetap stabil pada berbagai variasi kecepatan kipas, dengan efisiensi isentropik sebesar 58,4%. Dibandingkan dengan sebelum retrofit, kerja aktual kompresor setelah retrofit lebih tinggi. Ini menandakan peningkatan kerja kompresor sebesar 41% pada kecepatan kipas 1, 10% pada kecepatan kipas 2, dan 30% pada kecepatan kipas 3 saat menggunakan refrigeran R134a. Namun, data juga menunjukkan bahwa efisiensi kompresor mengalami penurunan rata-rata sebesar 15% setelah retrofit.

Coefficient of Performance dari Siklus Refrigerasi

Data yang terdapat dalam Gambar 7 dan Tabel 4 menampilkan nilai COP sebelum dan setelah retrofit pada mesin uji pompa kalor saat beroperasi pada mode sisi air dengan tiga variasi kecepatan kipas, yaitu kecepatan kipas 1, kecepatan kipas 2, dan kecepatan kipas 3. Kecepatan kipas 1 merupakan yang terendah, sementara kecepatan kipas 3 adalah yang tertinggi.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai COP Aktual Pada Mode Operasi Air Side

Tabel 4. Nilai COP Aktual Pada Mode Operasi Air Side

Fan Speed	COP Sebelum Retrofit	COP Sesudah Retrofit
1	3,34	2,75
2	2,40	2,75
3	2,49	2,73

Berdasarkan data yang terdapat dalam gambar 7 dan tabel 4, ketika mesin pompa kalor diuji sebelum retrofit atau masih menggunakan refrigeran R12, pada pengaturan sisi air dengan variasi kecepatan kipas, COP yang didapat pada kecepatan kipas 1 adalah 3,34; kemudian pada kecepatan kipas 2 menjadi 2,40; dan pada kecepatan kipas 3 menjadi 2,48. Namun, setelah retrofit atau penggunaan refrigeran R134a, COP pada kecepatan kipas 1 adalah 2,75; pada kecepatan kipas 2 tetap 2,75; dan pada kecepatan kipas 3 menjadi 2,73.

Dari gambar 7 dan tabel 5, terlihat bahwa nilai COP tertinggi terjadi saat mesin pompa kalor dioperasikan pada kecepatan kipas 1, baik sebelum maupun sesudah retrofit. Terjadi penurunan COP sebesar 18% pada kecepatan kipas 1 setelah retrofit, namun pada kecepatan kipas 2 dan 3, terjadi kenaikan masing-masing sebesar 14% dan 10%. Kenaikan nilai COP pada kecepatan kipas 2 dan 3 lebih dominan disebabkan oleh peningkatan kapasitas panas yang dapat diserap oleh evaporator. Gambar 7 dan tabel 5 juga menunjukkan perbandingan nilai COP sebelum dan sesudah retrofit pada mode operasi sisi air dengan tiga variasi kecepatan kipas: kecepatan kipas 1, kecepatan kipas 2, dan kecepatan kipas 3, dengan kecepatan kipas 1 merupakan yang terendah dan kecepatan kipas 3 merupakan yang tertinggi.

KESIMPULAN

Dari proses *retrofitting* yang telah dilakukan pada mesin kalor yang ada di laboratorium permesinan fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, didapatkan kenaikan performansi yang cukup signifikan pada COP power factor sebesar 12% pada area pengujian. Kenaikan ini dipengaruhi oleh kenaikan kapasitas penyerapan panas di evaporator dan kenaikan kerja pada kompresor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) atas pendanaan yang telah diberikan untuk penelitian ini, serta kepada Laboratorium Fluida PPNS yang telah menyediakan fasilitas untuk penggunaan alat pengujian mesin pompa kalor.

DAFTAR PUSTAKA

[1] BKI, 2018. “Seagoing Ships Volume VIII Rules for Refrigerating Installations Section 1.1 Approved Refrigerants”.
[2] M. Mutaufiq, H. Sulistyo, E. T. Berman, and A. Wiyono, “Investigasi Eksperimental Retrofit Refrigeran Pada Alat Praktik Refrigerator Dengan Refrigeran Produk Domestik Yang Ramah Lingkungan,” *FLYWHEEL J. Tek. Mesin Untirta*, vol. 1, no. 1, p. 51, 2019, doi: 10.36055/fwl.v1i1.6454.
[3] K. Harby, “Hydrocarbons and their mixtures as alternatives to environmental unfriendly halogenated refrigerants: An updated overview,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 73, no. December 2015, pp. 1247–1264, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.02.039.
[4] “KEPPRES No. 23 Tahun 1992.” https://peraturan.bpk.go.id/Details/102381/keppres-no-23-tahun-1992 (accessed Oct. 08, 2023).
[5] Tri Widagdo, “Pengujian refrigeran alternatif ramah lingkungan pada mesin pendingin jenis kompresi uap,” *Tri Widagdo*, vol. 2, no. 1986, pp. 33–41, 2010.