

PENINGKATAN KINERJA *HEAT PUMP TESTER* MELALUI *RETROFIT REFRIGERANT* TIDAK RAMAH LINGKUNGAN dengan R-134

Benedicta Dian Alfanda¹, George Endri Kusuma¹, Projek Priyonggo¹, Nopem Ariwiyono¹, Zulfa Maulana¹, R. Murdiono¹, Ratna Muningar¹

¹Jurusan Teknik Permesinan Kapal-PPNS, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jalan Teknik Kimia, Sukolilo, Surabaya, Indonesia 60111

Email: benedictadian@ppns.ac.id

Abstrak

Heat pump menggunakan fluida kerja *refrigerant* untuk memindahkan kalor melalui siklus penguapan dan kondensasi dalam sistem refrigerasi yang terkonfirmasi dengan kenaikan maupun penurunan nilai *enthalpy*-nya. Mesin uji *test heat pump* yang dimiliki Laboratorium Mesin Fluida di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya pada kondisi eksisting menggunakan refrigeran jenis sintetik R12 yang bersifat merusak lingkungan. Untuk memberikan pengalaman belajar dan juga fasilitas standar sesuai kebutuhan dunia industri dan maritim maka penelitian melakukan rekayasa teknik dengan penggantian *refrigerant* tidak ramah lingkungan tersebut dengan *refrigerant* ramah lingkungan dan sesuai standard klas kapal dengan juga mempertimbangkan sifat termodinamikanya untuk mendapatkan performansi terbaik dan juga potensi kerusakan penggunaannya dengan analisis nilai ODP (*Ozone Depleting Potential*) dan GWP (*Global Warming Potential*). *Refrigerant* alternatif pengganti *refrigerant* jenis sintetik yang bisa digunakan namun sesuai dengan kriteria unjuk kerja unit utama refrigerasi dan *auxiliary* unit mesin refrigerasi eksisting adalah yaitu R-134a yang memiliki keunggulan lebih ramah lingkungan dari sisi kriteria ODP dan GWP serta termasuk dalam klasifikasi *refrigerant* yang telah disetujui 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*. Penelitian ini berhasil melakukan proses *retrofit ting* R12 menjadi R134a pada mesin *heat pump* eksisting dan dihasilkan analisis perbandingan performansi sistem *heat pump* di antara 2 jenis *refrigerant* tersebut pada area kerja yang identik. Penggantian jenis *refrigerant* dengan R134a menunjukkan kenaikan performansi secara signifikan pada COP *power factor* sebesar 12% pada area rata-rata pengujian. Kenaikan performansi ini dominan dipengaruhi oleh kenaikan kapasitas penyerapan *refrigerant* di *evaporator* yang ditunjukkan parameter kenaikan kinerja Q *evaporator* 28% dibanding *refrigerant* R12 namun juga diikuti kenaikan kerja kompresor yang dibutuhkan menggerakkan sistem mencapai 27% dibanding kerja R12 pada semua area pengujian. Kenaikan COP dipengaruhi efek kenaikan penyerapan kapasitas panas di *evaporator* yg mengakibatkan kenaikan nilai *enthalpy refrigerant* pada saat keluar *evaporator* memasuki *suction compressor* pada fase *superheated*. Perubahan fase ini menaikkan kerja kompresor secara bersamaan perubahan nilai *enthalpy* dan penurunan efisiensi *isentropic compressor* mencapai 15 % efek akibat kenaikan volume spesifik *refrigerant* pada fase *superheated*.

Kata Kunci: performance, COP, refrigerant, kompresi uap, Head Pump

Abstract

Heat pumps use refrigerant as a working fluid to transfer heat through evaporation and condensation cycles in the refrigeration system which is confirmed by an increase or decrease in the enthalpy value. The heat pump test machine owned by the Fluid Machine Laboratory at the Shipbuilding Institute of Polytechnic Surabaya in its existing condition uses synthetic R12 refrigerant which is environmentally damaging. To provide a learning experience and also standard facilities according to the needs of the industrial and maritime world, the research carried out technical engineering by replacing non-environmentally friendly refrigerants with environmentally friendly refrigerants and by ship class standards while also considering their thermodynamic properties to obtain the best performance and also potential damage to their use. analysis of ODP (*Ozone Depleting Potential*) and GWP (*Global Warming Potential*) values. An alternative refrigerant to replace synthetic type refrigerant that can be used but in accordance with the performance criteria of the main refrigeration unit and auxiliary unit of the existing refrigeration machine is R-134a which has the advantage of being more environmentally friendly in terms of ODP and GWP criteria and is included in the refrigerant classification that has been approved by The Indonesian Classification Bureau (BKI) in its use is as listed in the BKI Rules Part I *Seagoing Ships Volume VIII Rules for Refrigerating Installations Section 1.1 Approved Refrigerants*. This research succeeded in carrying out the process of retrofit ting R12 to R134a on the existing heat pump engine and produced a comparative analysis of the performance of the heat pump system between the 2 types of refrigerant in identical work areas. Replacing the refrigerant type with R134a showed a significant increase in performance in the COP power factor of 12% in the average test area. This increase in performance is predominantly influenced by the increase in the refrigerant absorption capacity in the evaporator, which is shown by the parameters increasing Q evaporator performance by 28% compared to R12 refrigerant, but is also accompanied by an increase in the compressor work required to move the system, reaching 27% compared to R12 work in all test areas. The increase in COP is influenced by the effect of increasing the heat absorption capacity in the evaporator which results in an increase in the enthalpy value of the refrigerant when it exits the evaporator and enters the suction compressor in the superheated phase. This phase change increases the work of the compressor simultaneously changing the enthalpy value and decreasing the isentropic efficiency of the compressor reaching 15% due to the increase in the specific volume of refrigerant in the superheated phase area.

Keywords: performance, COP, refrigerant, vapor compression, Head pump

1. PENDAHULUAN

Refrigeran merupakan salah satu jenis bahan yang digunakan mahasiswa pada saat melakukan pembelajaran dalam kuliah Praktikum Sistem Pendingin di Laboratorium Mesin Fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Refrigeran berperan penting sebagai fluida kerja yang berfungsi untuk memindahkan kalor [1]. Adapun refrigeran yang dipakai dalam laboratorium tersebut adalah refrigeran dengan jenis sintetis. Seperti pada mesin *heat pump test* yang menggunakan refrigeran R 12 yang juga tergolong dalam refrigeran sintetis.

Refrigeran R 12 merupakan refrigeran sintetis yang ditemukan pada tahun 1930-an. Bahan utama dari refrigeran R 12 merupakan *Chloro fluoride Carbonate* atau biasanya disebut dengan *CFC*. Refrigeran dengan jenis tersebut merupakan refrigeran yang tidak beracun, tidak mudah terbakar, dan memiliki harga terjangkau. Akan tetapi dibalik beberapa keunggulan tersebut, terdapat juga dampak buruk yang ditimbulkan terhadap lingkungan. Beberapa dampak yang ditimbulkan adalah menyebabkan kerusakan dari lapisan ozon dan pemanasan global. Terdapat literatur yang mengemukakan bahwa refrigeran sintetis R 12 yang banyak digunakan tersebut memiliki nilai *ODP* (*Ozone Depletion Potential*) dan *GWP* (*Global Warming Potential*) yang tinggi [1], [2].

Pemerintah Indonesia juga telah membatasi penggunaan R 12 melalui KEPRES RI 23/1992 pada tahun 1997 karena efek negatifnya yang berpengaruh besar terhadap lingkungan maupun makhluk hidup [3]. Aturan tersebut berdampak terhadap pembatasan penggunaan alat-alat yang berkaitan dengan sistem refrigerasi yang masih menggunakan refrigeran dengan jenis sintetis R 12. Begitu juga dengan mesin *heat pump test* di Laboratorium Mesin Fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang secara standar menggunakan refrigeran R 12.

Maka agar dapat dengan leluasa untuk mengoperasikan kembali mesin *heat pump test*

pada laboratorium tanpa mengakibatkan dampak buruk terhadap lingkungan, mengacu pada anjuran pembatasan penggunaan refrigeran R 12. Diputuskan untuk mengganti refrigerannya dengan refrigeran yang lebih ramah lingkungan. Sehingga dilakukan *retrofit* refrigeran pada *heat pump test* dengan refrigeran R 134a.

Kegiatan *retrofit* ini pernah dilakukan oleh Tri Widagdo dalam penelitiannya dengan melakukan penggantian refrigeran R-12 dengan refrigeran R-134a, Butana, dan Petrozon pada sebuah mesin pendingin berjenis kompresi uap karena dinilai refrigeran R-12 berpotensi merusak lingkungan. Pengoperasian beberapa refrigeran alternatif akan menghasilkan karakter mesin pendingin yang berbeda pula prestasi mesin pendingin yang ditunjukkan oleh nilai *Coefficient Of Performance*. Nilai tersebut adalah faktor utama yang harus dipertimbangkan untuk mengatakan baik atau tidaknya refrigeran alternatif jika dibandingkan dengan refrigeran R-12. Pada prinsipnya ketiga refrigeran alternatif yang dipilih dapat dioperasikan pada mesin pendingin uji, akan tetapi yang terbaik diantara ketiganya adalah refrigeran R-134a. Refrigeran R-134a mempunyai nilai lebih baik dari segi performansi mesin pendingin maupun faktor-faktor subyektif yang diakibatkan oleh pemakaian refrigeran jenis R-134a. Refrigeran Butana meskipun menghasilkan performansi yang rendah akan tetapi harganya lebih murah. Sedangkan refrigeran Petrozon lebih sesuai untuk pengoperasian mesin pendingin dengan beban pendinginan yang berat [4].

2. METODE

Dalam pengembangan penelitian *retrofit refrigerant* R-12 menjadi R-134a ini, terdapat beberapa proses yang harus dilalui. Berikut merupakan proses pengerjaan penelitian seperti disajikan berikut ini.

2.1. Prosedur Penelitian

2.1.1. 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.

2.1.2. Proses Flushing dan *Retrofit Refrigerant*

a) Recover System

Langkah pertama adalah melepas refrigeran R-12 dari mesin uji pompa panas menggunakan unit pemulihan refrigeran yang disetujui. Hal ini penting untuk mencegah pelepasan zat perusak ozon ke atmosfer.



Gambar 1. Proses *Recover System*

b) Flushing System

Setelah refrigeran R-12 dilepas, bilas sistem mesin uji pompa panas dengan pelarut pembilas untuk menghilangkan sisa refrigeran dan kontaminan.



Gambar 2. Proses *Flushing*

c) Penggantian filter Drier

Ganti filter drier dengan yang baru untuk mencegah kelembapan atau kotoran masuk ke sistem.

d) Pengisian sistem dengan R-134a

Sambungkan tabung zat pendingin R-134a ke mesin uji pompa panas dan isi daya sistem secara perlahan dengan jumlah zat pendingin yang sesuai menurut spesifikasi pabrikan.



Gambar 3. Proses *Pengisian Sistem dengan Refrigerant R-134a*

e) Pengujian Performa Setelah *Retrofit Refrigerant*

Periksa kebocoran dan uji sistem: Setelah sistem diisi dengan refrigeran baru, periksa kebocoran menggunakan detektor kebocoran atau larutan sabun dan air. Setelah dipastikan tidak ada kebocoran, uji kinerja mesin uji pompa panas untuk memastikannya berfungsi dengan baik.

f) Analisis Kinerja

Setelah semua proses *retrofit* dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis performa mesin heat pump 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:

1. Q Evaporator

$$Q = (h_{out\ evap} - h_{in\ evap}) \times \dot{m}$$

Dimana:

$h_{out\ evap}$ = Nilai enthalpi refrigerant saat keluar dari evaporator ($\frac{kJ}{kg}$)

$h_{in\ evap}$ = Nilai enthalpi refrigerant saat masuk ke evaporator ($\frac{kJ}{kg}$)

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

2. W Kompresor

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

Dimana:

$h_{id\ out\ comp}$ = Nilai enthalpi refrigeran saat keluar dari kompresor pada kondisi ideal ($\frac{kJ}{kg}$)

$h_{in\ comp}$ = Nilai enthalpi refrigeran saat masuk ke kompresor ($\frac{kJ}{kg}$)

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

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

Dimana:

$h_{act\ out\ comp}$ = Nilai enthalpi refrigeran saat keluar dari kompresor pada keadaan aktual ($\frac{kJ}{kg}$)

$h_{in\ comp}$ = Nilai enthalpi refrigeran saat masuk ke kompresor ($\frac{kJ}{kg}$)

\dot{m} = Nilai mass flow rate dari refrigerant ($\frac{kg}{s}$)

3. Efisiensi

Efisiensi isentropic kompresor dapat dihitung dengan rumus:

$$\eta = \frac{W_{Ideal\ Kompresor}}{W_{Aktual\ Kompresor}}$$

Dimana:

$W_{Ideal\ Kompresor}$ = Kerja ideal yang dilakukan kompresor (kW)

$W_{Aktual\ Kompresor}$ = Kerja aktual yang dilakukan kompresor (kW)

4. COP (Coefficient of Performance)

$$COP = \frac{Q_{Evaporator}}{W_{Aktual\ Kompresor}}$$

Dimana:

$Q_{Evaporator}$ = Beban pendinginan yang ditanggung oleh evaporator (kW)

$W_{Aktual\ Kompresor}$ = Kerja aktual yang dilakukan kompresor (kW)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian mesin *heat pump* dilakukan dengan menggunakan dua mode operasi yang tersedia pada pilihan operasi mesin *heat pump test*. Pilihan mode tersebut terdiri dari mode *air side evaporator* dan *water side evaporator*. Dengan masing-masing mode dilakukan variasi pada tiga tingkatan *fan speed*. Didapatkan hasil nilai Q Evaporator, W Kompresor, dan COP (Coefficient Of Performance) pada saat sebelum dilakukan *retrofit* atau masih menggunakan refrigerant R12 dan sesudah dilakukan *retrofit* atau sesudah menggunakan refrigerant R134A sebagai berikut.

3.1 Q Evaporator (Refrigeration Effect)

Pada tabel 1 menunjukkan nilai Q Evaporator sebelum dilakukan *retrofit* dan sesudah dilakukan *retrofit* pada mesin *heat pump test* saat beroperasi pada mode *air side* dengan tiga variasi *fan speed*.

Tabel 1. Nilai Q Evaporator Pada Mode Air Side

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

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa nilai Q evaporator sebelum *diretrofit* memiliki karakteristik semakin tinggi *fan speed*nya

semakin rendah nilai Q evaporatornya. Lalu setelah dilakukan *retrofit* Q evaporator memiliki karakteristik yang semakin tinggi *fan speed*nya semakin tinggi nilai Q evaporatornya. Serta jika dilihat nilai Q evaporator sebelum *diretrofit* memiliki nilai yang lebih kecil daripada nilai Q evaporator setelah *diretrofit*. Hal tersebut menunjukkan bahwa setelah dilakukan *retrofit* terdapat peningkatan kemampuan evaporator dalam menyerap beban panas. Dengan prosentase nilai kenaikan 17% pada *fan speed 1*, 26% pada *fan speed 2*, dan 43% pada *fan speed 3*.

Pada tabel 2 menunjukkan nilai Q Evaporator sebelum dilakukan *retrofit* dan sesudah dilakukan *retrofit* pada mesin *heat pump test* saat beroperasi pada mode *water side* dengan tiga variasi *fan speed*.

Tabel 2. Nilai Q Evaporator Pada Mode *Water Side*

Fan Speed	Q Evap Sebelum <i>Retrofit</i>	Q Evap Sesudah <i>Retrofit</i>
1	7,731	7,297
2	7,731	7,297
3	7,731	7,297

Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa nilai Q evaporator pada mode *water side* cenderung konstan pada tiap kenaikan *fan speed*, pada keadaan sebelum *diretrofit* maupun sesudah *diretrofit*. Berbeda dengan mode *air side* yang mengalami kenaikan nilai Q evaporator setelah dilakukan *retrofit*, pada mode *waterside* ini terdapat penurunan nilai Q evaporator setelah dilakukan *retrofit* dengan prosentase penurunan pada seluruh variasi *fan speed* sebesar 6%.

3.2 W (Work) Kompresor

Pada tabel 3 menunjukkan nilai W Kompresor sebelum dilakukan *retrofit* dan sesudah dilakukan *retrofit* pada mesin *heat pump test* saat beroperasi pada mode *air side* dengan tiga variasi *fan speed*.

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

Fan Speed	R 12			R134a		
	W Ideal	W Aktual	η	W Ideal	W Aktual	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, diketahui bahwa nilai kerja kompresor sebelum *diretrofit*, pada mode *air side* memiliki efisiensi isentropic sebesar 91% pada *fan speed 1*, 59 % pada *fan speed 2*, dan 63% pada *fan speed 3*. Hal tersebut menunjukkan di tiap kenaikan *fan speed* cenderung terjadi penurunan efisiensi isentropic dari kompresor. Sedangkan setelah dilakukan *retrofit*, nilai efisiensi isentropic kompresor berada pada nilai yang konstan pada tiap variasi *fan speed*nya, dengan prosentase efisiensi isentropic sebesar 58,4%. Lalu jika dibandingkan, W aktual kompresor saat sesudah *diretrofit* memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding dengan W aktual kompresor sebelum *diretrofit*. Hal ini menandakan saat menggunakan refrigeran R134a terjadi kenaikan kerja kompresor dengan prosentase kenaikan 41 % pada *fan speed 1*, 10% pada *fan speed 2*, dan 30% pada *fan speed 3*. Serta dari data tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi dari kompresor pada setelah *diretrofit* mengalami penurunan dengan rata-rata 15%. Penurunan efisiensi tertinggi terjadi pada saat variasi *fan speed 1*.

Pada tabel 4 menunjukkan nilai W Kompresor sebelum dilakukan *retrofit* dan sesudah dilakukan *retrofit* pada mesin *heat pump test* saat beroperasi pada mode *water side* dengan tiga variasi *fan speed*.

Tabel 4. Nilai W Ideal Kompresor, W Aktual, dan Efisiensi Isentropic Kompresor Pada Mode *Water Side*

Fan Speed	R 12			R134a		
	W Ideal	W Aktual	η	W Ideal	W Aktual	η

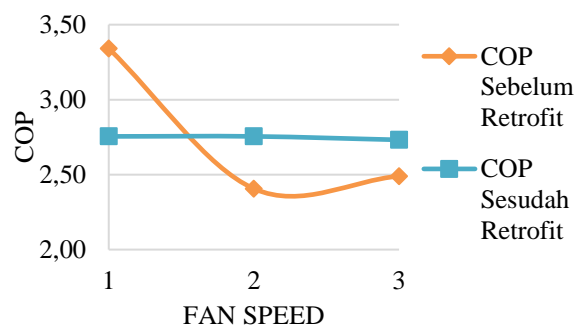
1	1,85	2,38	78 %	1,62	1,89	85 %
2	1,85	2,58	72 %	1,62	2,30	70 %
3	1,85	2,69	69 %	1,62	2,43	68 %

Dari tabel 4, diketahui bahwa nilai kerja kompresor sebelum *diretrofit*, pada mode *water side* memiliki efisiensi isentropic kompresor sebesar 78% pada *fan speed 1*, 72% pada *fan speed 2*, dan 69% pada *fan speed 3*. Lalu pada saat setelah *diretrofit*, efisiensi isentropic kompresor sebesar 85% pada *fan speed 1*, 70% pada *fan speed 2*, dan 68% pada *fan speed 3*. Hal tersebut menunjukkan pada kondisi sebelum dan sesudah *diretrofit*, pada tiap kenaikan *fan speed* sama-sama terjadi penurunan efisiensi isentropic dari kompresor. Lalu jika dibandingkan, W aktual kompresor saat sesudah *diretrofit* memiliki nilai yang lebih rendah dibanding dengan W aktual kompresor sebelum *diretrofit* pada tiap variasi *fan speed*-nya. Hal ini menandakan saat menggunakan refrigeran R134a, pada mode *water side* terjadi penurunan kerja kompresor dengan prosentase penurunan 20 % pada *fan speed 1*, 11% pada *fan speed 2*, dan 10% pada *fan speed 3*. Serta dari data tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi dari kompresor setelah *diretrofit* yang mengalami kenaikan hanya terjadi pada *fan speed 1* dengan prosentase kenaikan sebesar 10% sedangkan pada *fan speed 2* dan 3 terjadi penurunan dengan rata-rata 2%.

3.3 Coefficient of Performance dari Siklus Refrigerate

Gambar 1 dan tabel 5 menunjukkan nilai COP sebelum dilakukan *retrofit* dan sesudah dilakukan *retrofit* pada mesin *heat pump test* saat beroperasi pada mode *air side* dengan tiga variasi *fan speed* yang terdiri dari *fan speed 1*, *fan speed 2*, dan *fan speed 3*. Dengan *fan speed 1* adalah kecepatan putaran *fan* yang terendah

dan *fan speed 3* adalah nilai kecepatan putaran *fan* yang tertinggi.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai COP Aktual Pada Mode Operasi *Air Side*

Tabel 5. 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

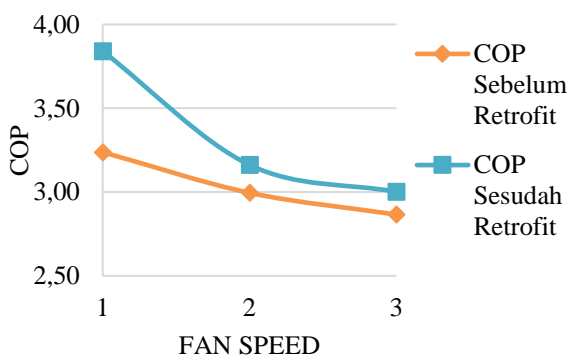
Berdasarkan gambar 1 dan tabel 5, ketika mesin *heat pump test* dioperasikan sebelum dilakukan *retrofit* atau masih menggunakan *refrigerant R12*, pada mode operasi *air side* dengan variasi kenaikan *fan speed*, pada *fan speed 1* diperoleh nilai COP 3,34; lalu saat dinaikkan ke *fan speed 2* diperoleh nilai COP 2,40; dan pada saat dinaikkan ke *fan speed 3* diperoleh nilai COP 2,48.

Sedangkan ketika mesin *heat pump test* dioperasikan setelah dilakukan *retrofit* atau sudah menggunakan *refrigerant R134a*, pada mode operasi *air side* dengan variasi kenaikan *fan speed*, pada *fan speed 1* diperoleh nilai COP 2,75; lalu saat dinaikkan ke *fan speed 2* diperoleh nilai COP 2,75; dan pada saat dinaikkan ke *fan speed 3* diperoleh nilai COP 2,73.

Jika diperhatikan pada gambar 1 dan tabel 5, grafik perbandingan nilai COP pada mode *air side* tersebut, baik pada kondisi sebelum *diretrofit* maupun sesudah *diretrofit*,

didapatkan bahwa nilai COP tertinggi diperoleh pada saat mesin heat pump test dioperasikan dengan diatur pada *fan speed 1* atau nilai dari *fan speed* terendah. Pada saat mode *air side evaporator*. Serta jika dilakukan perbandingan ketika sebelum *diretrofit* dengan sesudah *diretrofit*, pada *fan speed 1* nilai COP terjadi penurunan dengan prosentase 18%. Akan tetapi pada *fan speed 2* dan 3, nilai COP mengalami kenaikan masing-masing dengan nilai 14% dan 10%. Kenaikan nilai COP pada *fan speed 2* dan 3 di mode *air side* ini jika diperhatikan lebih dominan disebabkan oleh pengaruh dari kenaikan kapasitas panas yang dapat diserap pada *evaporator*nya.

Gambar 2 dan tabel 6 menunjukkan nilai COP sebelum dilakukan *retrofit* dan sesudah dilakukan *retrofit* pada mesin *heat pump test* saat beroperasi pada mode *water side* dengan tiga variasi *fan speed* yang terdiri dari *fan speed 1*, *fan speed 2*, dan *fan speed 3*. Dengan *fan speed 1* adalah kecepatan putaran *fan* yang terendah dan *fan speed 3* adalah nilai kecepatan putaran *fan* yang tertinggi.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai COP Aktual Pada Mode Operasi *Water Side*

Tabel 6. Nilai COP Aktual Pada Mode Operasi *Water Side*

Fan Speed	COP Sebelum <i>Retrofit</i>	COP Sesudah <i>Retrofit</i>
1	3,23	3,84
2	2,99	3,16
3	2,86	3,00

Berdasarkan pada gambar 2 dan tabel 6, ketika mesin *heat pump test* dioperasikan sebelum dilakukan *retrofit* atau masih menggunakan *refrigerant R12*, pada mode operasi *water side* dengan variasi kenaikan *fan speed*, pada *fan speed 1* diperoleh nilai COP 3,23; lalu saat dinaikkan ke *fan speed 2* diperoleh nilai COP 2,99; dan pada saat dinaikkan ke *fan speed 3* diperoleh nilai COP 2,86.

Sedangkan ketika mesin *heat pump test* dioperasikan setelah dilakukan *retrofit* atau sudah menggunakan *refrigerant R134a*, pada mode operasi *water side* dengan variasi kenaikan *fan speed*, pada *fan speed 1* diperoleh nilai COP 3,84; lalu saat dinaikkan ke *fan speed 2* diperoleh nilai COP 3,16; dan pada saat dinaikkan ke *fan speed 3* diperoleh nilai COP 3,00.

Jika diperhatikan pada gambar 2 dan tabel 6, grafik perbandingan nilai COP pada mode *water side* tersebut, baik pada kondisi sebelum *di-retrofit* maupun sesudah *di-retrofit*, didapatkan bahwa nilai COP tertinggi diperoleh pada saat mesin *heat pump test* dioperasikan dengan diatur pada *fan speed 1* atau nilai dari *fan speed* terendah. Serta saat mesin *heat pump test* telah dilakukan *retrofit*, didapatkan karakteristik nilai COP yang lebih tinggi dari tiap variasi *fan speed*nya dibandingkan dengan kondisi mesin *heat pump test* sebelum *diretrofit* dengan kenaikan COP 19 % pada *fan speed 1*, 6% pada *fan speed 2*, dan 5 % pada *fan speed 3*. Kenaikan nilai COP pada mode *water side* ini cenderung lebih dipengaruhi oleh penurunan kerja aktual dari kompresor pada tiap variasi *fan speed*nya, dibandingkan dengan nilai *Q evaporator* yang memiliki nilai yang sama pada tiap variasi *fan speed*. Hal ini menunjukkan bahwa enthalpi *refrigerant* saat keluar dari *evaporator* sudah

berada pada fase superheated sehingga kerja kompresor menjadi lebih ringan dalam menaikkan enthalpi, temperatur, dan tekanan dari *refrigerant*.

4. KESIMPULAN

Penelitian dan analisis berhasil melakukan proses *retrofit* ting R12 menjadi R134a pada mesin heat pump eksisting dan dihasilkan analisis perbandingan performansi sistem heat pump di antara 2 jenis *refrigerant* tersebut pada area kerja yang identik. Penggantian jenis *refrigerant* dengan R134a menunjukkan kenaikan performansi secara signifikan pada COP power factor sebesar 12% pada area rata-rata pengujian. Kenaikan performansi ini dominan dipengaruhi oleh kenaikan kapasitas penyerapan *refrigerant* di *evaporator* yang ditunjukkan parameter kenaikan kinerja Q *evaporator* 28% dibanding *refrigerant* R12 namun juga diikuti kenaikan kerja kompresor yang dibutuhkan untuk menggerakkan sistem mencapai 27% dibanding kerja R12 pada semua area pengujian. Kenaikan COP dipengaruhi efek kenaikan penyerapan kapasitas panas di *evaporator* yg mengakibatkan kenaikan nilai *enthalpy refrigerant* pada saat keluar *evaporator* memasuki *suction compressor* pada fase superheated. Perubahan fase ini menaikkan kerja *compressor* secara bersamaan perubahan nilai *enthalpy* dan penurunan efisiensi isentropic *compressor* mencapai 15 % efek akibat kenaikan volume spesifik *refrigerant* pada *are fase superheated*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) yang telah mendanai penelitian ini dan Laboratorium Fluida PPNS yang memfasilitasi

penggunaan alat pengujian *Heat Pump Tester Machine*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BKI, 2018. "Seagoing Ships Volume VIII Rules for Refrigerating Installations Section 1.1 Approved Refrigerants".
- [2] M. Mutaufiq, H. Sulistyono, 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 environmentally 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.