



INVESTIGASI EKSPERIMENTAL RETROFIT REFRIGERAN PADA ALAT PRAKTIK REFRIGERATOR DENGAN REFRIGERAN PRODUK DOMESTIK YANG RAMAH LINGKUNGAN

Mutaufiq^{1*}, Hendri Sulisty¹, Ega Taqwali Berman¹, Apri Wiyono¹

¹ Departemen Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

*Email Penulis: taufiq_top@upi.edu

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 15/10/2019
Naskah Direvisi 22/10/2019
Naskah Disetujui 25/10/2019
Naskah Online 26/10/2019

ABSTRAK

Isu tentang kerusakan ozon dan pemanasan global permukaan bumi akibat refrigeran sintetik, mendorong laboratorium Pendidikan yang menggunakan mesin pendingin, mencari alternatif jenis refrigeran yang ramah lingkungan. Retrofit merupakan penggantian refrigeran (bahan habis sebagai fluida kerja) dengan jenis refrigeran yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan eksperimen retrofit refrigeran R-134a pada alat praktikum mesin pendingin jenis refrigerator/kulkas dengan refrigeran natural yang diproduksi oleh perusahaan domestik sebagai refrigeran ramah lingkungan. Penelitian dirancang secara eksperimen dengan metode retrofit *drop in substitute*. Jenis refrigeran natural yang digunakan adalah Musicool-22 (MC-22). Pengujian diawali dengan mengukur performa mesin pendingin refrigerator yang masih menggunakan refrigeran R-134a, untuk mendapatkan performa awal refrigerator. Kemudian dilakukan retrofit dengan MC-22 dengan jumlah massa 15% sampai 65% dari massa R-134a. Selanjutnya kinerja refrigerator yang sudah diretrofit menggunakan MC-22 diukur sebagaimana pengukuran kinerja mesin pendingin menggunakan refrigeran R-134a. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, performa mesin pendingin refrigerator meningkat pada saat diretrofit MC-22 dengan jumlah massa refrigeran 25% sampai 35% dari massa refrigeran R-134a. Performa terbaik refrigerator diperoleh saat menggunakan MC-22 ($m=25g$) dengan nilai COP meningkat sampai 10,3% dan suhu evaporator lebih rendah 6 °C dari mesin pendingin refrigerator yang menggunakan refrigeran asalnya (R-134a, $m=100g$).

Kata kunci: *Bahan habis praktik, Refrigeran Natural, Metode drop in substitute, Refrigeran, Retrofit.*

1. PENDAHULUAN

Refrigeran merupakan bahan habis yang digunakan oleh seluruh matakuliah praktik yang menggunakan mesin pendingin di Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udara DPTM FPTK UPI (Mutaufiq, Sutia, and Berman 2017). Pada bidang keahlian refrigerasi dan tata udara, refrigeran merupakan fluida kerja yang digunakan pada mesin pendingin untuk menyerap kalor dari produk yang didinginkan di evaporator dan membuang kalor tersebut ke lingkungan melalui kondenser. Pada dasarnya terdapat tiga jenis refrigeran yang umum digunakan yaitu refrigeran sintetik, refrigeran natural, dan refrigeran campuran. Refrigeran yang sudah

familier dan komersial dipasaran adalah refrigeran jenis sintetik. Refrigeran jenis ini banyak digunakan untuk mesin pendingin domestik seperti kulkas (refrigerator) dan Split AC (*Air conditioning*). Sayangnya penggunaan refrigeran sintetik dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan khususnya lapisan ozon. Sehingga perlu diupayakan refrigeran pengganti yang ramah lingkungan dan cocok dengan alat praktikum mesin pendingin serta sesuai dengan kesepakatan yang diatur dalam montreal protocol (Makhnatch & Khodabandeh, 2014; Bolaji, 2010; Devotta, Padalkar, & Sane, 2005).

Berbagai literatur menyatakan bahwa, refrigeran sintetik memiliki nilai ODP (*ozone Depletion Potensial*) dan GWP (*Global Warming Potensial*) yang cukup tinggi

(Righetti, Zilio, & Longo, 2015; Yu & Teng, 2014; Tian et al., 2015). Refrigeran sintetik yang dikategorikan memiliki nilai ODP dan GWP sangat tinggi adalah kelompok CFCs diantaranya R-11, R-12, dan R-115. Sedangkan untuk grup HCFCs (diantaranya R-22, R-141b, R-124) dan grup HFCs (diantaranya R-407C, R-32, R134a) dikategorikan memiliki ODP dan GWP sedang/rendah (Harby 2017). Refrigeran yang memiliki nilai ODP tinggi dapat menyebabkan kerusakan lapisan ozon dan nilai GWP yang tinggi dapat menimbulkan pemanasan global dipermukaan bumi. Hal tersebut tentu saja sangat merugikan karena ozon merupakan lapisan pelindung bagi makhluk hidup di bumi dari sinar matahari secara langsung. Untuk meminimalisir dampak negatif terhadap lingkungan, retrofit/penggantian refrigeran sintetik alat-alat praktik mesin pendingin dengan refrigeran natural merupakan salah satu solusi yang perlu diupayakan.

Penelitian-penelitian untuk tujuan akhir mengurangi dampak negatif refrigeran terhadap lingkungan sudah dilakukan oleh beberapa peneliti. Berawal dari keprihatinan terhadap isu global kerusakan lapisan ozon dan pemanasan global akibat refrigeran sintetik, dilakukan uji coba penggantian refrigeran sintetik R-22 dengan hidrokarbon Hycool HCR-22 pada mesin pendingin jenis split AC. Penelitian dilakukan secara eksperimen dengan melakukan lima variasi massa refrigeran dalam setiap pengambilan data. Untuk mesin pendingin yang menggunakan refrigeran sintetik R-22 variasi massanya 700 gram, 750 gram, 800 gram, 850 gram, dan 900 gram. Sedangkan saat mesin pendingin split AC menggunakan Hycool HCR-22 variasi massanya adalah 240 gram, 260 gram, 280 gram, 300 gram, dan 320 gram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efek refrigerasi mesin pendingin Split AC yang menggunakan refrigeran sintetik R-22 lebih kecil 41,93 % di bandingkan saat menggunakan refrigeran hidrokarbon Hycool HCR-22. Selain itu diperoleh penghematan energi listrik sebesar 14,56 % saat mesin pendingin menggunakan refrigeran hidrokarbon Hycool HCR-22 (Arijanto and Kurdi, 2007).

Pada Laboratorium Perawatan dan Perbaikan Teknik Mesin Universitas Riau dilakukan eksperimen penggantian Freon R-22 dengan refrigeran hidrokarbon HCR-22 pada mesin refrigerasi. Mesin refrigerasi yang digunakan adalah jenis chiller yang memiliki siklus primer dan siklus sekunder. Siklus primer menggunakan fluida kerja refrigeran R-22 dan siklus sekunder menggunakan air dingin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin pendingin chiller yang menggunakan refrigeran hidrokarbon HCR-22 lebih baik dari pada saat mesin chiller menggunakan refrigeran sintetik (R-22). Dimana laju pendingin saat menggunakan refrigeran HCR-22 lebih cepat dibandingkan saat menggunakan refrigeran default nya (R-22). Kemudian kinerja (COP) mesin chiller meningkat dari 2,123 menjadi 3,104 dan daya kompresor mesin chiller menurun dari 0,953 menjadi 0,846 kW (Aziz, 2009).

Penelitian untuk melihat pengaruh penggantian refrigeran sintetik CFC-12 dengan refrigeran campuran

hidrokarbon (HCR-12) terhadap kinerja dan komponen refrigerator telah dilakukan di Politeknik Negeri Padang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa refrigerator yang menggunakan refrigeran campuran (HCR-12) lebih hemat menggunakan refrigeran. Massa refrigeran HCR-12 yang dibutuhkan hanya 40 % dari massa refrigeran CFC-12. Kemudian angka kinerja (COP) hasil perhitungan menunjukkan nilai yang relative sama. Kemudian dari hasil observasi secara manual dengan cara membuka komponen-komponen refrigerator seperti kompresor hermetic, menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan fisik atau kerusakan pada komponen-komponen yang menyusunnya. Sehingga refrigeran hidrokarbon campuran (HCR-12) dapat digunakan untuk meretrofit/mengganti CFC-12 (Hanwar, 2010).

Meretrofit/mengganti refrigeran dengan menggunakan refrigeran ramah lingkungan seperti kelompok hidrokarbon memang dapat mengurangi dampak buruk refrigeran terhadap lingkungan. Hanya saja perlu diwaspadai juga tentang sifat refrigeran hidrokarbon yang mudah terbakar. Untuk mengurangi tingkat flammable refrigeran hidrokarbon dapat dilakukan dengan mencampurkan inhibitor (zat penghambat laju reaksi pembakaran) pada refrigeran hidrokarbon seperti dengan inhibitor jenis CO₂ dan N₂. Saat penambahan inhibitor pada hidrokarbon juga diperhatikan jumlah konsentrasi inhibitor yang dimasukkan ke dalam refrigeran hidrokarbon. Karena berdasarkan hasil penelitian, refrigeran hidrokarbon yang ditambahkan inhibitor CO₂ dengan konsentrasi 100:0, 90:10, 85:15, dan 80:20 % massa total sebanyak 300 gr menyebabkan efek refrigerasi semakin menurun dan kerja yang dilakukan oleh kompresor semakin berat karena tekanan kerja refrigeran semakin tinggi sehingga mengakibatkan angka kinerja mesin pendingin menjadi turun (Hamidi et al., 2013).

Penelitian uji performa pada mesin pendingin menggunakan refrigeran ramah lingkungan jenis HCR-134a dengan jumlah massa refrigeran 60 gram telah dilakukan di Laboratorium Rekayasa Termal di Universitas Riau. Mesin pendingin yang digunakan merupakan hasil rancang bangun sendiri menggunakan kompresor hermetic 1/6 PK. Pengujian dilakukan dengan alat ekspansi pipa kapiler 1,25 m berdiameter 0,042 inchi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya kompresor pada laju aliran massa refrigeran 60 gram menunjukkan tren menurun dan angka performa mesin pendingin COP reratanya adalah 5,21 (Deswita, Aziz, and Mainil, 2016).

Selanjutnya telah di uji-coba retrofit refrigeran menggunakan refrigeran hidrokarbon R-290 pada mesin pendingin AC split wall mounted R-22. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan refrigeran dengan tiga ukuran berat refrigeran yang berbeda, yaitu 80 g, 107 g, dan 160 g. Selanjutnya performa mesin pendingin diukur dan dibandingkan. Hasil pengujian menunjukkan kenaikan tertinggi efek refrigerasi untuk mesin pendingin AC split yang menggunakan R-290 sebesar 41% dibandingkan dengan AC split wall mounted yang menggunakan R-22. Namun, nilai kalor hasil kerja

kompresi lebih tinggi sehingga berdampak pada perolehan nilai COP yang rendah (Berman et al. 2019).

Berbagai upaya yang dilakukan oleh para peneliti di atas merupakan wujud kepedulian peneliti untuk mencari solusi terhadap isu global yang berkaitan dengan kerusakan lingkungan akibat refrigeran sintetik. Untuk melengkapi penelitian-penelitian di atas, pada penelitian ini, dilakukan penelitian retrofit/refrigeran dari mesin pendingin jenis kulkas/refrigerator yang banyak digunakan oleh masyarakat dengan natural refrigerant jenis MC-22. Retrofit/penggantian refrigeran dilakukan dengan cara *drop in substitute* yaitu mengganti refrigeran asal/default tanpa mengganti komponen-komponen penyusun mesin pendingin. Hal ini sengaja dilakukan untuk mengetahui kinerja minimal yang dapat dicapai mesin pendingin kulkas dengan menggunakan komponen default-nya. Selain itu untuk mendapatkan efisiensi biaya yang dikeluarkan saat melakukan penggantian refrigeran.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya yaitu alat praktik mesin pendingin jenis refrigerator sebagai komponen uji, mesin *recovery* refrigeran untuk membantu proses retrofit, manifold gauge untuk mengukur tekanan rendah dan tekanan tinggi refrigeran dalam perpipaan mesin pendingin, *electronic charging metter* untuk mengukur massa refrigeran, *stopwatch* untuk menghitung waktu pengambilan data, dan termometer untuk mengukur suhu di evaporator. Selanjutnya bahan yang digunakan untuk penelitian diantaranya yaitu refrigeran natural MC-22 dan refrigeran jenis R-134a sebagai fluida kerja mesin pendingin, Nitrogen untuk *pressure test* kebocoran sistem perpipaan mesin pendingin, dan tabung kosong refrigeran untuk menampung refrigeran sintetik yang diretrofit.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen menggunakan mesin pendingin jenis refrigerator dengan refrigeran asal (*default*) R-134a. Retrofit/penggantian refrigeran dilakukan dengan metode *drop in substitute* yaitu dengan melakukan penggantian refrigeran tanpa mengganti komponen penyusun mesin pendingin. Refrigeran natural yang digunakan untuk mensubstitusi R-134a adalah Musicool-22 (MC-22) yang ramah lingkungan. Pengujian dilakukan dalam dua tahap untuk mengukur kinerja mesin pendingin sebelum dan setelah di retrofit. Pada tahap pertama mesin pendingin beroperasi dengan fluida kerja refrigeran R-134a dan pada tahap kedua menggunakan refrigeran MC-22. Selanjutnya kinerja mesin pendingin refrigerator dibandingkan dengan cara mengamati penurunan temperatur evaporator, efek refrigerasi, kalor kerja kompresi dan angka prestasi mesin (COP) setiap selang waktu 1 (satu) menit selama 31 menit. Efek refrigerasi, kalor kerja kompresi, dan COP mesin pendingin refrigerator dihitung dengan menggunakan persamaan (1), (2), dan (3).

$$RE = h1 - h3 \quad (1)$$

$$Wk = h2 - h1 \quad (2)$$

$$COP = \frac{RE}{Wk} \quad (3)$$

Dimana :

RE = nilai *Refrigeration Effect* (kJ/kg)

Wk = kerja kompresor (kJ/kg)

COP = angka kinerja siklus refrigerasi

$h1$ = *enthalpy spesific* refrigeran ke luar evaporator (kJ/kg)

$h2$ = *enthalpy spesific* refrigeran ke luar kompresor (kJ/kg)

$h3$ = *enthalpy spesific* refrigeran masuk evaporator (kJ/kg)

Pada tahap pertama, pengujian diawali dengan melakukan tes kebocoran perpipaan mesin pendingin refrigerator. Selanjutnya mesin pendingin divakum selama 15 menit. Kemudian mesin pendingin refrigerator diisi dengan refrigeran R-134a sebanyak 100 gram sesuai dengan kapasitas mesinnya. Parameter data yang diambil diantaranya adalah tekanan *suction* kompresor, tekanan *discharge* kompresor, dan temperatur evaporator. Selanjutnya kinerja mesin pendingin dianalisis untuk mengetahui kinerja mesin pendingin refrigerator saat menggunakan refrigeran R-134a.



Gambar 1 Pengujian retrofit refrigeran R-134a dengan MC-22 pada mesin pendingin refrigerator

Setelah pengujian tahap pertama selesai dilakukan, selanjutnya mesin pendingin refrigerator diretrofit dengan menggunakan refrigeran hidrokarbon jenis MC-22 seperti ditunjukkan pada foto gambar 1. Retrofit dilakukan dengan metode *drop in substitute*. Refrigeran MC-22 dimasukkan ke dalam mesin pendingin untuk enam variasi massa refrigeran. Perbandingan jumlah massa MC-22 terhadap refrigeran R-134a (refrigeran default-nya) adalah 15% sampai 65% massa R-134a. Jumlah massa refrigeran R-134a yang dimasukkan ke dalam mesin pendingin refrigerator adalah $m = 100$ g. Sedangkan jumlah massa refrigeran MC-22 yang

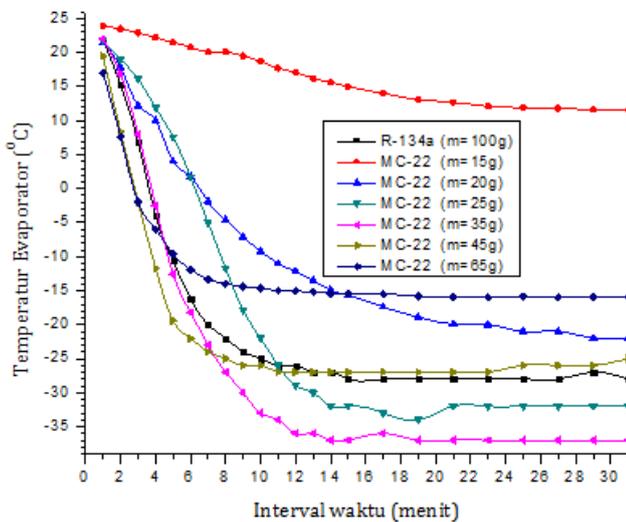
dimasukkan ke dalam mesin pendingin refrigerator adalah 15 g, 20 g, 25 g, 35 g, 45 g, dan 65 g. Selanjutnya kinerja refrigerator/kulkas yang sudah diretrofit menggunakan MC-22 diukur sebagaimana pengukuran kinerja refrigerator menggunakan refrigeran *default*-nya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen penggantian/retrofit refrigeran dari R-134a ke refrigeran natural MC-22 pada alat praktik mesin pendingin jenis refrigerator telah dilakukan. Data perubahan temperatur evaporator, efek refrigerasi (RE), kalor kerja kompresi, dan angka prestasi mesin (COP) pada selang waktu menit ke-1 sampai menit ke-31 ditampilkan pada gambar 2 sampai 6 di bawah.

Temperatur Evaporator

Evaporator merupakan komponen utama mesin pendingin refrigerator yang bertugas untuk menyerap kalor dari produk yang disimpan di dalam refrigerator. Semakin rendah temperatur refrigeran di dalam pipa evaporator maka semakin banyak kalor yang dapat diserap dari produk makanan yang disimpan didalamnya, sehingga temperaturnya akan semakin rendah. Gambar 2 menunjukkan grafik temperatur evaporator terhadap waktu, pada pengujian mesin pendingin yang menggunakan refrigeran *default*-nya (R-134a, $m=100\text{g}$) dan MC-22 dengan enam variasi massa ($m=15\text{g}$, $m=20\text{g}$, $m=25\text{g}$, $m=35\text{g}$, $m=45\text{g}$, dan $m=65\text{g}$).



Gambar 2 Grafik temperatur evaporator terhadap waktu

Berdasarkan gambar 2, pada saat mesin pendingin refrigerator menggunakan refrigeran *default*-nya (R-134a, $m=100\text{g}$) temperatur evaporator turun dengan cukup cepat dari $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ menjadi $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada menit ke-15. Selanjutnya dari menit ke-16 sampai ke-31, temperaturnya tetap. Ini menunjukkan bahwa performa mesin pendingin refrigerator menggunakan R-134a dapat mencapai temperatur evaporator terbaik selama 15 menit dengan suhu $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Selanjutnya setelah mesin pendingin diretrofit dengan refrigeran natural MC-22 dengan enam variasi massa refrigeran (mulai 15% sampai 65% massa R-134a) menunjukkan performa berbeda-beda. Performa terburuk mesin pendingin refrigerator untuk menurunkan temperatur evaporator adalah pada saat menggunakan MC-22 ($m=15\text{g}$). Temperatur terendah yang dapat dicapai selama 31 menit hanya sampai $11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ di menit terakhir. Selanjutnya performa mesin pendingin untuk level cukup/menengah (performa sedikit di bawah refrigerator menggunakan R-134a), diperoleh pada saat menggunakan MC-22 ($m=20\text{g}$, $m=45\text{g}$, dan $m=65\text{g}$). Pada saat refrigerator menggunakan fluida kerja MC-22 ($m=20\text{g}$), temperatur evaporator terendah dicapai pada menit ke-29 dengan suhu $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatur ini tetap bertahan sampai menit ke-31. Kemudian pada saat menggunakan MC-22 ($m=45\text{g}$) temperatur terendah evaporator $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada menit ke-11. Kemudian pada saat menggunakan MC-22 ($m=65\text{g}$) temperatur terendah yang dapat dicapai adalah $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada menit ke-27 dan tetap bertahan sampai menit ke-31. Pada saat mesin pendingin menggunakan MC-22 ($m=45\text{g}$ dan $m=65\text{g}$) muncul bunga es pada saluran pipa suction sampai bagian bawah kompressor. Ini mengisyaratkan jumlah refrigeran dalam mesin pendingin terlalu banyak. Kondisi ini dapat menurunkan performa mesin pendingin refrigerator dan dalam jangka waktu tertentu dapat mengakibatkan kerusakan kompressor.

Performa mesin pendingin refrigerator untuk level baik (performa lebih baik dari refrigerator yang menggunakan R-134a) diperoleh pada saat mesin pendingin menggunakan MC-22 ($m=25\text{g}$, dan $m=35\text{g}$). Pada saat mesin pendingin menggunakan variasi massa tersebut, temperatur evaporator terendah adalah $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada menit ke-19 untuk MC-22 ($m=25\text{g}$) dan $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$ menit ke-14 untuk MC-22 ($m=35\text{g}$). Untuk mesin pendingin refrigerator yang beroperasi dengan MC-22 ($m=25\text{g}$), temperaturnya naik lagi menjadi $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada menit ke-21 dan suhunya konstan sampai menit ke-31. Sedangkan untuk refrigerator yang menggunakan MC-22 ($m=35\text{g}$) temperaturnya lebih stabil di $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai menit ke-31.

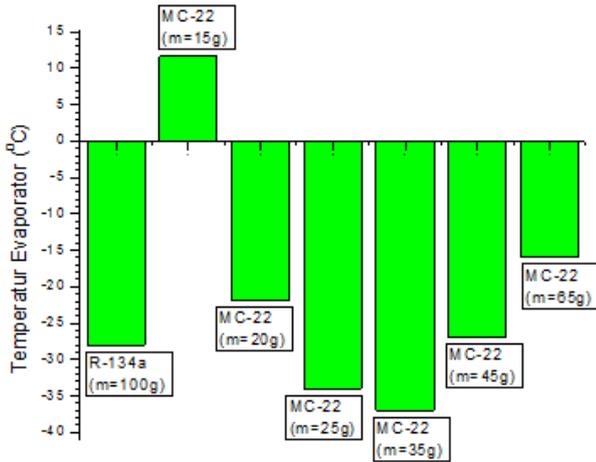
Berdasarkan data performa mesin pendingin refrigerator di atas (MC-22 $m=25\text{g}$ dan $m=35\text{g}$), mesin pendingin refrigerator yang beroperasi dengan fluida kerja MC-22 ($m=35\text{g}$) menunjukkan performa paling baik. Karena pencapaian temperatur yang paling rendah ($-37\text{ }^{\circ}\text{C}$) dalam selang waktu paling cepat selama 14 menit. Selain itu, setelah mencapai suhu terendah $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperaturnya stabil sampai menit ke-31.

Massa Refrigeran

Refrigeran merupakan fluida kerja yang bersirkulasi di dalam perpipaian mesin pendingin. Jumlah refrigeran yang bersirkulasi di dalam mesin pendingin harus sesuai dengan kapasitas mesin pendingin. Jumlah refrigeran yang kurang atau terlalu banyak dapat mengakibatkan performa mesin pendingin menjadi buruk. Biasanya berat refrigeran dicantumkan oleh pabrik pembuat

mesin pendingin pada dinding bagian belakang di dekat kompresor mesin pendingin.

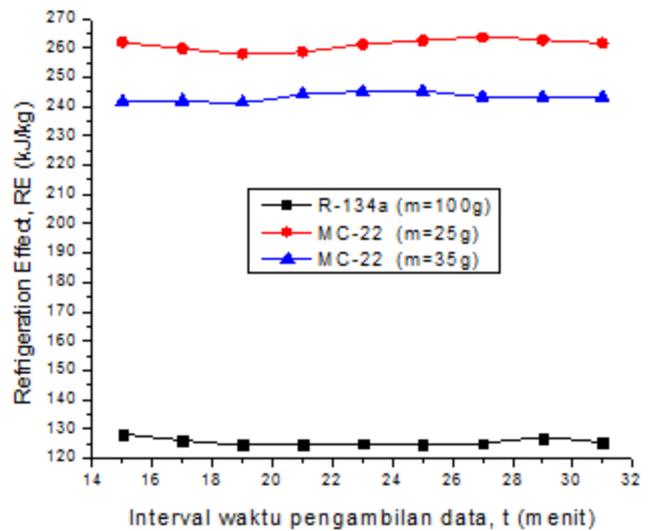
Pada eksperimen ini, mesin pendingin refrigerator menggunakan refrigeran *default*-nya, jenis R-134a ($m=100g$) dan selanjutnya dilakukan penggantian langsung (*drop in substituted*) dengan refrigeran MC-22. Berdasarkan gambar 3, dari enam variasi massa refrigeran MC-22 ($m=15g$, $m=20g$, $m=25g$, $m=35g$, $m=45g$, dan $m=65g$) menunjukkan adanya jumlah massa optimum untuk menghasilkan kinerja mesin pendingin refrigerator yang baik. Untuk jumlah massa refrigeran MC-22 ($m=15g$, $m=20g$, $m=45g$, dan $m=65g$), memperlihatkan kinerja mesin pendingin refrigerator masih di bawah performa ketika menggunakan refrigeran *default*-nya (R-134a, $m=100g$). Hal ini menunjukkan jumlah massa refrigeran MC-22 yang dimasukkan ke dalam refrigerator terlalu sedikit atau terlalu banyak. Kemudian pada variasi jumlah massa MC-22 ($m=25g$ dan $m=35g$), performa mesin pendingin refrigerator lebih baik dibandingkan dengan pada saat menggunakan refrigeran *default*-nya (R-134a, $m=100g$). Hasil ini dapat digunakan sebagai acuan untuk pengisian refrigeran natural MC-22 pada mesin pendingin jenis refrigerator (fluida kerja R-134a), bahwa jumlah optimum MC-22 sekitar 25% sampai 35% massa refrigeran asalnya.



Gambar 3 Grafik temperatur evaporator terendah yang dapat dicapai setiap jenis, variasi massa refrigeran

Efek Refrigerasi (RE)

Berdasarkan gambar 3, dari enam variasi massa refrigeran MC-22, hanya massa MC-22 ($m=25g$ dan $m=35g$) yang dapat mencapai temperatur evaporator lebih rendah dibandingkan R-134a. Untuk itu pada bagian selanjutnya akan di lihat performa ketiga refrigeran tersebut berdasarkan parameter efek refrigerasi, kalor kerja kompresi, dan COP mesin pendingin refrigerator.

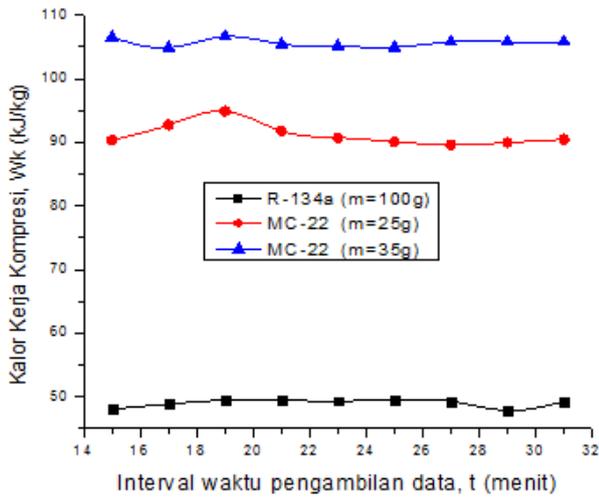


Gambar 4 Grafik efek refrigerasi terhadap waktu

Gambar 4 menunjukkan grafik efek refrigerasi (RE) terhadap interval waktu, mesin pendingin refrigerator yang menggunakan R-134a ($m=100g$), MC-22 ($m=25g$), dan MC-22 ($m=35g$). Gambar tersebut memperlihatkan bahwa untuk setiap interval waktu pengambilan data, nilai RE mesin pendingin yang menggunakan MC-22 ($m=25g$ dan $m=35g$) selalu lebih tinggi dari RE mesin pendingin refrigerator yang menggunakan R-134a. Nilai RE refrigerator yang menggunakan MC-22 ($m=25g$) berkisar dari 258,03 kJ/kg sampai 263,60 kJ/kg dan 241,38 kJ/kg sampai 245,25 kJ/kg untuk MC-22 ($m=35g$). Sedangkan nilai RE refrigerator yang menggunakan R-134a ($m=100g$) berkisar dari 124,64 kJ/kg sampai 128,21 kJ/kg. Hal tersebut mengindikasikan kemampuan refrigeran MC-22 ($m=25g$ dan $m=35g$) dalam menyerap kalor dari produk yang disimpan di sekitar pipa evaporator lebih baik dari refrigeran R-134a ($m=100g$).

Kalor Kerja Kompresi (WK)

Parameter kalor kerja kompresi mesin pendingin refrigerator menggunakan R-134a ($m=100g$) dan MC-22 ($m=25g$ dan $m=35g$) ditampilkan pada gambar 5 grafik kalor kerja kompresi terhadap waktu. Pada gambar 5, terlihat bahwa kalor kerja kompresi untuk mesin pendingin refrigerator yang menggunakan R-134a ($m=100g$) lebih kecil dari MC-22 pada seluruh interval waktu pengambilan data. Nilai kalor kerja kompresi refrigerator R-134a ($m=100g$) berkisar 47,85 kJ/kg sampai 49,46 kJ/kg. Sedangkan kalor kerja kompresi mesin pendingin refrigerator yang menggunakan MC-22 adalah 89,58 kJ/kg sampai 94,89 kJ/kg untuk MC-22 ($m=25g$) dan 104,85 kJ/kg sampai 106,61 kJ/kg untuk MC-22 ($m=35g$).

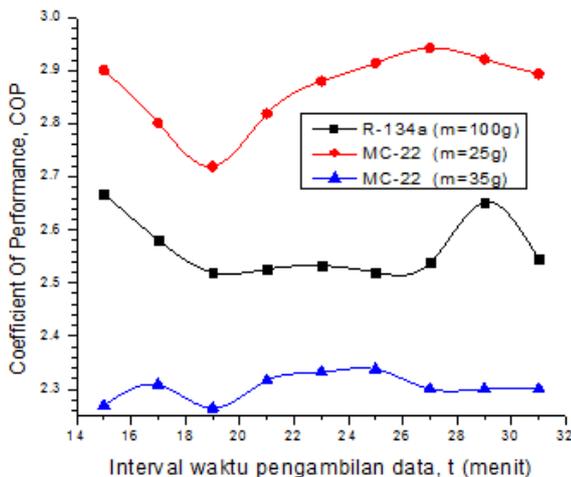


Gambar 5 Grafik kalor kerja kompresi terhadap waktu

Nilai kalor kerja kompresi mesin pendingin MC-22 ($m=25g$ dan $m=35g$) lebih besar dari mesin pendingin yang menggunakan R-134a bias disebabkan karena jenis kompressor yang digunakan mesin pendingin adalah khusus untuk jenis refrigeran R-134a. Walaupun nilai kalor kerja kompresi MC-22 lebih buruk dari R-134a, tapi nilai RE dan suhu evaporator minimum dari MC-22 masih jauh lebih baik dari pada R-134a. Sehingga MC-22 ($m=25g$ dan $m=35g$) masih layak untuk langsung mensubstitusi R-134a tanpa mengganti komponen penyusun mesin pendingin refrigerator.

Angka Performa Mesin Pendingin

Angka performa mesin pendingin dapat dilihat dari nilai COP (*Coefficient of Performance*) yang merupakan pembagian nilai efek refrigerasi dengan nilai kalor kerja kompresi. Gambar 6, menunjukkan nilai COP dari mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-134a ($m=100g$), MC-22 ($m=25g$), dan MC-22 ($m=35g$) terhadap interval waktu. Data ditampilkan dari menit ke-15 sampai menit ke-31.



Gambar 6 Grafik COP terhadap waktu

Berdasarkan gambar 6, nilai COP terbesar terjadi pada saat refrigerator menggunakan MC-22 ($m=25g$) sebesar 2,72 sampai 2,94. Kemudian dilanjutkan oleh R-

134a ($m=100g$) dengan nilai COP sebesar 2,52 sampai 2,67. Terakhir MC-22 ($m=35g$) dengan nilai COP berkisar 2,70 sampai 2,86. Data tersebut menunjukkan bahwa refrigeran MC-22 ($m=25g$) layak untuk mensubstitusi secara langsung R-134a ($m=100g$) pada mesin pendingin refrigerator tanpa harus mengganti komponen penyusunnya. Sedangkan untuk MC-22 ($m=35g$), masih layak mensubstitusi R-134a secara langsung. Karena nilai COP yang rendah diakibatkan oleh nilai kalor kerja kompresi yang tinggi. Sedangkan berdasarkan data parameter kinerja yang lain sangat baik terutama pencapaian temperatur evaporator yang paling baik.

4. KESIMPULAN

Eksperimen retrofit/penggantian refrigeran pada alat praktik mesin pendingin refrigerator dengan refrigeran natural MC-22, metode *drop in substitute* telah dilakukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin pendingin refrigerator memiliki performa lebih baik pada saat diretrofit MC-22 dengan jumlah massa refrigeran 25% sampai 35% dari massa refrigeran R-134a. Performa terbaik diperoleh saat beroperasi menggunakan refrigeran MC-22 ($m=25g$) dengan nilai COP meningkat sampai 10,3% dan suhu evaporator lebih rendah 6 °C dibandingkan mesin pendingin yang menggunakan refrigeran asalnya (R-134a, $m=100g$).

5. DAFTAR PUSTAKA

- Arijanto and Ojo Kurdi. 2007. "Pengujian Refrigeran Hycool HCR-22 Pada AC Split Sebagai Pengganti Freon R-22." *Rotasi* 9(April):42-46.
- Aziz, Azridjal. 2009. "Studi Eksperimental Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon Substitusi R-22 Pada Kondisi Transient." *Jurnal Teknik Mesin* 6(2):75-78.
- Berman, Ega Taqwali, Radif Abdul Hapidz, Kamin Sumardi, and Mutaufiq. 2019. "UJI PERFORMA WALL MOUNTED SPLIT AIR CONDITIONER MENGGUNAKAN REFRIGERAN HC-290 SEBAGAI PENGGANTI REFRIGERAN HCFC-22." *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin UNTIRTA* V(1):94-97.
- Bolaji, B. O. 2010. "Experimental Analysis of Reciprocating Compressor Performance with Eco-Friendly Refrigerants."
- Deswita, Nurul, Azridjal Aziz, and Rahmat Iman Mainil. 2016. "Performansi Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap Pada Massa 60 Gram Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon." *Jom FTEKNIK* 3(2):2-5.
- Devotta, S., A. S. Padalkar, and N. K. Sane. 2005. "Performance Assessment of HCFC-22 Window Air Conditioner Retrofitted with R-407C."
- Hamidi, Nurkholis, Nasrul Ilminafik, Purnami, and Denny Widyanuriawan. 2013. "Pengaruh Konsentrasi CO₂ Sebagai Inhibitor Dalam Refrigeran Alternatif LPG Terhadap Unjuk Kerja Air Conditioner." *Jurnal Energi Dan Manufaktur* 6(1):69-72.
- Hanwar, Oong. 2010. "Pengaruh Retrofit Refrigeran CFC-12 Dengan HCR-12 Terhadap Kinerja Refrigerator Domestik." *Jurnal Teknik Mesin* 7(1):17-25.
- Harby, K. 2017. "Hydrocarbons and Their Mixtures as Alternatives to Environmental Unfriendly Halogenated Refrigerants: An Updated Overview." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73(February):1247-64.
- Makhnatch, Pavel and Rahmatollah Khodabandeh. 2014. "The Role of Environmental Metrics (GWP, TEWI, LCCP) in the Selection of Low GWP Refrigerant." *Energy Procedia* 61:2460-63.
- Mutaufiq, Iyep Sutia, and Ega Taqwali Berman. 2017. "Manufaktur MRV Sebagai Upaya Untuk Mereduksi Penggunaan Bahan Habis

- Praktikum." *Prosiding Konferensi Dan Semnas UNPAD* 1:401-8.
- Righetti, Giulia, Claudio Zilio, and Giovanni A. Longo. 2015. "Comparative Performance Analysis of the Low GWP Refrigerants HFO1234yf, HFO1234ze(E) and HC600a inside a Roll-Bond Evaporator." *International Journal of Refrigeration* 54:1-9.
- Tian, Qiqi, Dehua Cai, Liang Ren, Weier Tang, Yuanfei Xie, Guogeng He, and Feng Liu. 2015. "An Experimental Investigation of Refrigerant Mixture R32/R290 as Drop-in Replacement for HFC410A in Household Air Conditioners." *International Journal of Refrigeration* 57:216-28.
- Yu, Chao Chieh and Tun Ping Teng. 2014. "Retrofit Assessment of Refrigerator Using Hydrocarbon Refrigerants." *Applied Thermal Engineering* 66(1-2):507-18.