

KONDISI KERJA MESIN REFRIGERASI KOMPRESI UAP PADA VARIASI MASSA REFRIGERAN HIDROKARBON

Rahmat Iman Mainil¹, Nurul Deswita¹, Afdhal Kurniawan Mainil², Azridjal Aziz¹

¹Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widaya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Jl. WR. Supratman Kel. Kandang Limun, Kota Bengkulu, 38371, Indonesia

E-mail : rahmat.iman@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Salah satu penentu kinerja mesin kompresi uap adalah massa refrigeran. Kinerja mesin refrigerasi dapat dinilai pada kondisi kerja sistem meliputi temperatur kotak pendingin, temperatur kerja kondensator dan evaporator, tekanan kerja kondensator dan evaporator, dan daya kompresor pada variasi massa refrigeran yang ditetapkan. Untuk menganalisa kondisi kerja tersebut, mesin refrigerasi kompresi uap diisi menggunakan refrigeran HCR-134a dengan variasi massa 60-220 gram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk seluruh variasi massa refrigeran, temperatur kotak pendingin dapat turun terhadap waktu operasi dimana rata-rata penurunan temperatur adalah 7 °C. Tekanan evaporator dan tekanan kondensator meningkat dengan meningkatnya jumlah massa refrigeran yang diisi kedalam sistem, mengakibatkan semakin meningkatnya kerja kompresor. Kenaikan daya kompresor pada setiap massa refrigeran rata-rata sebesar 0,016 kW.

Kata kunci: Mesin refrigerasi, kondisi kerja, massa refrigeran

ABSTRACT

One of the determinants of the performance of vapor compression machine is refrigerant mass. The performance of refrigeration machine can be assessed on the working conditions of the system including temperature of cooling box, evaporator and condenser temperature, evaporator and condenser pressure, and compressor power at the specified refrigerant mass variations. To analyze the working conditions, the vapor compression machine was filled by HCR-134a with a mass variation of 20-220 gram. The results showed that for all refrigerant mass variations, the temperature of the cooling box decrease with the operating time with the average temperature drop was 7°C. The evaporator pressure and condenser pressure increase with the increase in the mass of refrigerant introduced into the system, resulting in increased of compressor work. In average, the increase in compressor power for each mass of refrigerant was 0.016 kW.

Keywords: Refrigeration machine, working conditions, refrigerant mass

PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan terhadap kenyamanan udara ruangan (*thermal comfort*) dan mesin pendingin untuk pengawetan makanan, mendorong beragam usaha dalam peningkatan kinerja teknologi refrigerasi (Daghigh et al. 2009; Azizpour et al. 2013). Banyak cara yang telah dikembangkan oleh para peneliti dalam hal ini, diantaranya dengan meningkatkan efisiensi, konservasi energi, perbaikan kinerja dan karakteristik mesin refrigerasi, pemanfaatan

refrigeran non-ODP (*ozone depletion potential*) dan non-GWP (*global warming potential*) (Aziz 2009; Daghigh 2015; Prasetyo et al. 2016; Dhamneya et al. 2018; Mageshwaran et al. 2018).

Masalah lingkungan seperti *ozone depletion* dan *global warming* yang disebabkan oleh penggunaan refrigeran, menjadi perhatian seluruh dunia. Setelah protokol Montreal yang membatasi penggunaan *chloroflourocarbon* (CFC), penggunaan refrigeran *hydroflourocarbons* (HFCs) menjadi semakin populer. Penggunaan refrigeran hidrokarbon seperti

HCR-134a mempunyai keuntungan zero ODP, low GWP, non toxic, memiliki performansi yang bagus, dan dapat menggantikan langsung (*drop in substitute*) refrigeran pada sistem refrigerasi yang sudah ada (Dalkilic and Wongwises 2010; Aziz et al. 2017; Harby 2017). Untuk alasan keamanan, penanganan yang ketat harus dilakukan pada penggunaan hidrokarbon sebagai refrigeran.

Kinerja dari mesin refrigerasi kompresi uap ditentukan salah satunya oleh massa refrigerant. Agar massa refrigerant yang digunakan dapat menghasilkan kinerja terbaik, maka perlu dikaji nilai optimum dari massa tersebut. Berdasarkan penelitian Aziz dan Rosa, 2010 diketahui bahwa peningkatan massa refrigeran dapat meningkatkan tekanan sistem sehingga daya kompresi yang dibutuhkan semakin tinggi. Penambahan refrigeran akan mencapai titik kapasistas pendinginan optimum, untuk kemudian mengalami penurunan.

Penelitian Wibowo, dkk (2006) yang memvariasikan massa refrigeran R-12 dan putaran *blower* evaporator untuk menentukan COP pada mesin refrigerasi mobil menunjukkan bahwa semakin bertambahnya massa maka daya kompresor akan semakin tinggi.

Aziz 2009 melakukan pengujian pada siklus kompresi uap dengan menggunakan refrigeran hidrokarbon substitusi R-22 pada kondisi *Transient*. Penelitian ini menunjukkan bahwa HCR-22 memiliki kapasitas kalor dan kalor laten lebih besar dibanding R22, dengan jumlah massa refrigeran lebih sedikit (420 gram) dibandingkan dengan R22 (900 gram).

Pengujian refrigeran Hycool HCR-22 pada AC Split sebagai pengganti Freon R-22 dilakukan oleh Arjianto dan Kurdi (2007) . Dimana massa refrigeran yang digunakan berdasarkan rekomendasi dari produsen AC Split yaitu untuk R-22 adalah 800 gram sedangkan massa HCR-22 di dapat dari massa rekomendasi dikalikan dengan 35% yaitu sekitar 280 gram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efek refrigerasi HCR-22 lebih besar dari pada R-22 dengan konsumsi daya listrik dan tekanan refrigeran HCR-22 lebih rendah dibanding R-22.

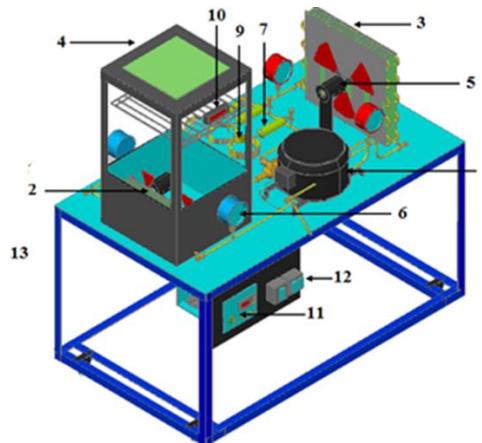
Strategi penghematan energi dengan menentukan massa optimum refrigeran terhadap kinerja mesin refrigerasi yang telah eksis perlu dilakukan ketika dilakukan penggantian (*drop in substitute*) oleh refrigerant hidrokarbon. Salah satu yang menentukan performansi dari mesin refrigerasi adalah penilaian terhadap kondisi kerja sistem

meliputi temperatur kerja, tekanan kerja, dan daya kompresor pada variasi massa refrigeran yang ditetapkan. Sejauh ini, masih penelitian fokus membahas kondisi kerja dari sistem refrigerasi kompresi uap pada berbagai massa refrigerant hidrokarbon masih dibutuhkan. Sehingga pada penelitian ini akan dipelajari kondisi kerja refrigeran hidrokarbon HCR-134a pada variasi penggunaan massa refrigerant.

BAHAN DAN METODE

Metode pengujian

Penelitian kondisi kerja mesin refrigerasi kompresi uap pada berbagai variasi massa hidrokarbon ini dilakukan pada sebuah mesin pendingin dengan daya kompresor 120 Watt dengan menggunakan refrigeran HCR-134a. Massa refrigerant divariasikan dari 60-220 gram. Mesin refrigerasi tersebut terdiri dari klompresor, kondensor dengan panjang 9.8 m, evaporator dengan Panjang 4.9 m, katup ekspansi termostatik, dan pipa kapiler. Selain itu alat uji juga dilengkapi dengan *cold box evaporator*, *fan*, dan rangka dudukan. Alat ukur berupa termokopel dan *pressure gage* ditempatkan pada beberapa titik pengambilan data. Komponen-komponen lengkap dari perangkat alat uji diperlihatkan pada **Gambar 1**.

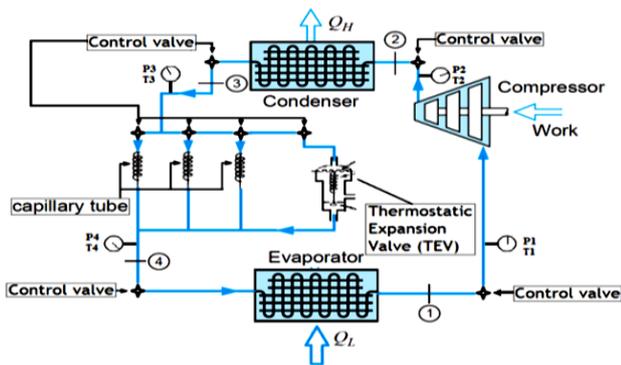


Gambar 1. Bagian-bagian perangkat pengujian

- | | | |
|---------------|--------------------------|-----------------------|
| 1. Kompresor | 6. <i>Pressure gauge</i> | 11. <i>Controller</i> |
| 2. Evaporator | 7. Saringan | 12. Saklar |
| 3. Kondensor | 8. Katup Ekspansi | 13. Rangka |
| 4. <i>Box</i> | 9. Pipa Kapiler | |
| 5. <i>Fan</i> | 10. Termometer | |

Pipa kapiler sebagai alat ekspansi menggunakan diameter *inlet* 0,042 inci. Terdapat 3 variasi panjang yang digunakan yaitu dengan panjang 1,25 m, 1,5 m, dan 2,7 m. Namun, pada pengujian ini hanya menggunakan alat ekspansi jenis pipa kapiler dengan panjang 1,25 m, sedangkan pipa kapiler lain dan katup termostatik ditutup. Skema dari alat uji mesin

refrigerasi kompresi uap dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Skematik alat uji mesin refrigerasi kompresi uap

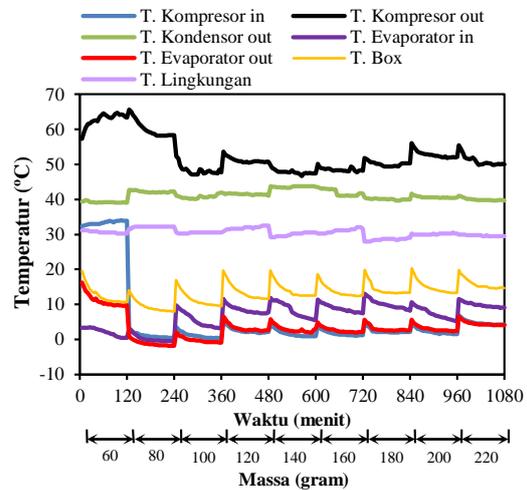
Untuk memulai eksperimen, pemvakuman sistem refrigerasi kompresi uap dilakukan untuk kemudian sistem diisi dengan massa refrigeran 60 gram. Data-data pengujian seperti temperatur keluar kompresor ($^{\circ}\text{C}$), temperatur keluar kondensor ($^{\circ}\text{C}$), temperatur masuk evaporator ($^{\circ}\text{C}$), temperatur kotak pendingin ($^{\circ}\text{C}$), temperatur keluar evaporator ($^{\circ}\text{C}$), temperatur masuk kompresor ($^{\circ}\text{C}$), tekanan keluar evaporator (Psig), tekanan masuk kondensor (Psig), tekanan keluar kondensor (Psig), tekanan masuk evaporator (Psig), voltase dan kuat arus (Ampere) diambil setiap 5 menit selama 2 jam untuk melihat kondisi kerja berupa temperatur, tekanan, voltase dan arus listrik pada mesin pada penggunaan massa refrigeran. Data temperatur diukur menggunakan termokopel tipe K yang disambungkan pada data recorder TC 08. Tekanan dibaca menggunakan *pressure gage*. Dan tegangan dan arus listrik yang dibutuhkan mesin refrigerasi diukur menggunakan multimeter digital.

Setelah pengujian selesai, mesin dimatikan selama ± 60 menit hingga mesin refrigerasi mencapai kondisi stabil, untuk selanjutnya pipa perangkat uji diisi kembali dengan tambahan refrigeran sebanyak 20 gram. Kemudian perangkat uji dioperasikan dan data diambil dengan prosedur yang sama hingga massa refrigeran didalam sistem mencapai 220 gram. Jika sebelum massa refrigeran mencapai 220 gram tetapi kapasitas pendinginan sudah mencapai titik maksimum dan kemudian terjadi penurunan, maka pengambilan data dihentikan.

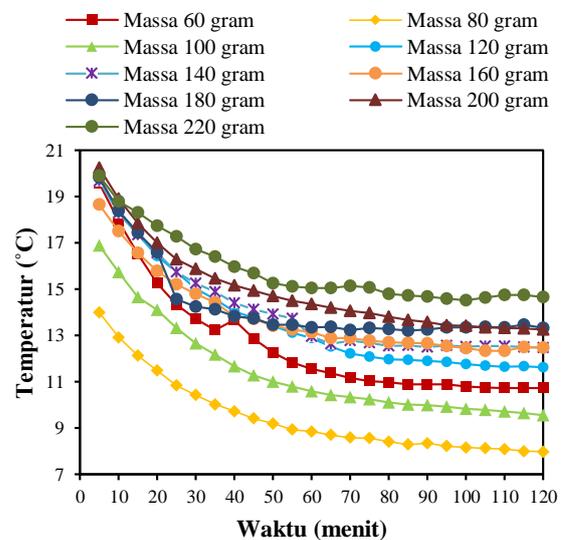
HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui kondisi kerja dari mesin refrigerasi kompresi uap pada variasi massa refrigeran dilakukan pengambilan data pada massa

refrigeran 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, dan 220 gram. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa temperatur kerja sistem pada selang pengujian dipengaruhi oleh variasi massa refrigeran seperti yang terlihat pada **Gambar 3**. Perubahan temperatur kotak pendingin terhadap waktu pada berbagai massa refrigeran diperlihatkan oleh **Gambar 4**.



Gambar 3. Grafik perbandingan temperatur kerja mesin refrigerasi terhadap waktu operasi dan perubahan jumlah massa refrigeran

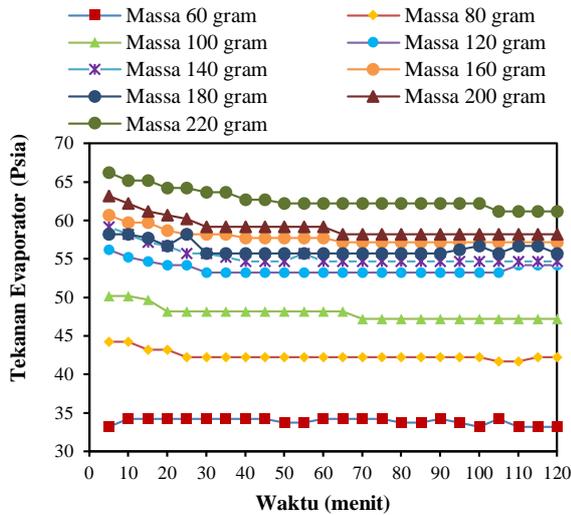


Gambar 4. Grafik perbandingan temperatur kotak pendingin terhadap waktu pada variasi massa refrigerant

Gambar 3 memperlihatkan bahwa pada setiap pengujian dengan penggunaan massa refrigeran yang berbeda, secara umum temperatur kerja kondensor, evaporator dan temperatur ruang pendingin mengalami penurunan pada setiap selang pengujian. Jika dilihat pada penggunaan massa refrigeran 80 gram, maka temperatur kotak pendingin terendah dapat dicapai pada kondisi ini. Dimana, saat massa

refrigeran ditambah, temperatur minimum kotak pendingin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa pengisian refrigeran 80 gram merupakan pengisian terbaik jika ditinjau dari capaian temperatur kotak pendingin.

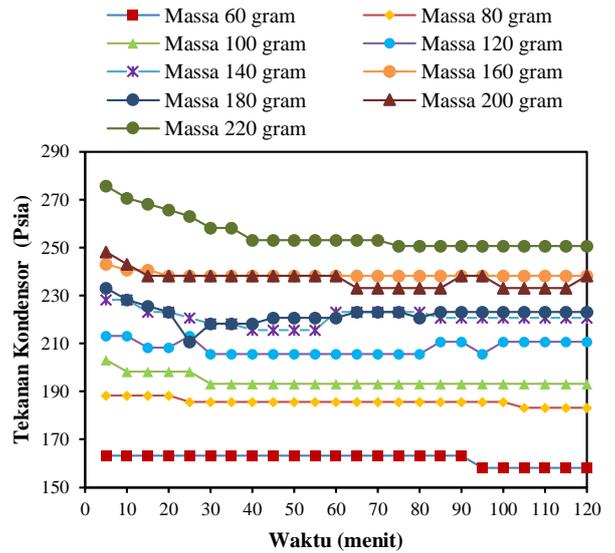
Penurunan temperatur ruang pendingin pada variasi massa refrigeran lebih jelas diperlihatkan pada **Gambar 4**. Dimana untuk massa refrigeran 80 gram temperatur terendah yang dapat dicapai adalah 7,98 °C. Sedangkan temperatur *box* tertinggi di menit ke 120 pada pengisian massa refrigeran 220 gram dengan temperatur pendinginan yang mampu dicapai adalah 14,66 °C.



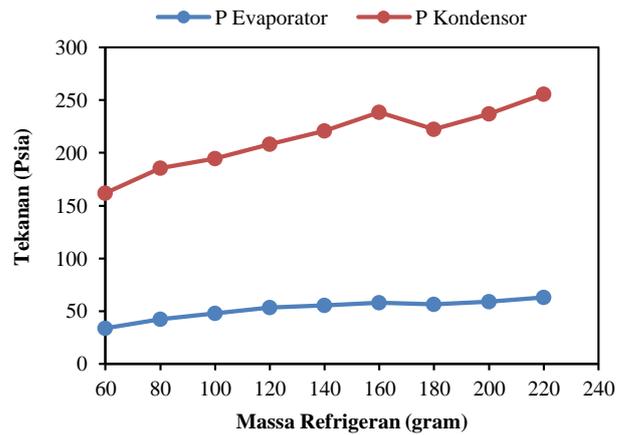
Gambar 5. Grafik Perbandingan Tekanan Pada Evaporator

Dari **Gambar 5** dan **Gambar 6** dapat dilihat bahwa hasil pengujian tekanan evaporator dan kondensor pada tiap massa refrigeran mengalami penurunan terhadap waktu operasi untuk setiap variasi massa refrigeran. Tekanan evaporator dan kondensor pada tiap massa refrigeran cenderung mengalami penurunan. Penurunan tekanan yang signifikan terjadi pada tekanan evaporator di menit ke 5 hingga menit ke 50 pada jumlah massa refrigeran 220 gram, hal ini dikarenakan jumlah massa refrigeran yang banyak pada sistem membutuhkan penurunan tekanan berulang kali oleh pipa kapiler untuk mencapai tekanan yang stabil pada evaporator.

Gambar 7 menunjukkan bahwa tekanan evaporator dan kondensor cenderung mengalami peningkatan setiap dilakukan penambahan jumlah massa refrigeran. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan massa refrigeran akan membuat kinerja mesin refrigerasi menurun.

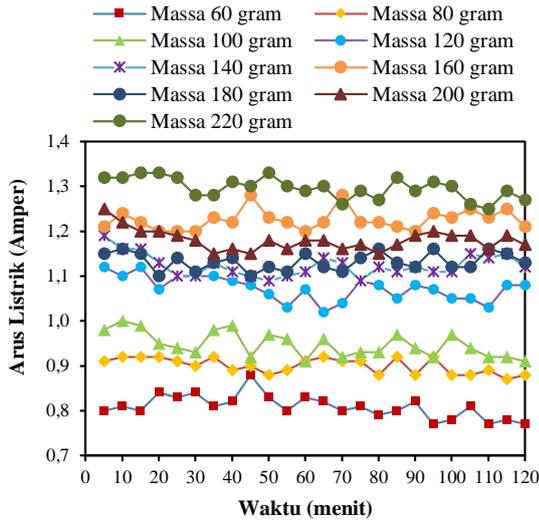


Gambar 6. Grafik Perbandingan Tekanan Pada Kondensor

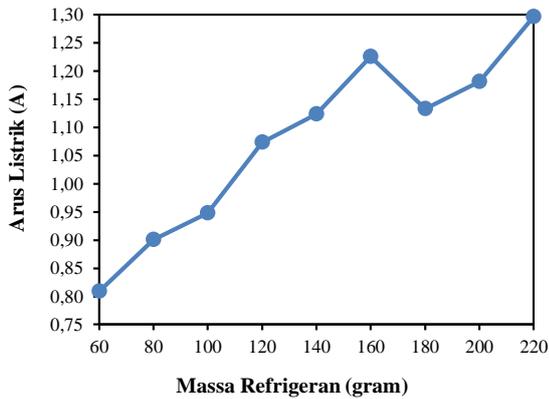


Gambar 7. Perubahan Tekanan terhadap Penambahan Massa Refrigeran

Gambar 8 dan **Gambar 9** dapat dilihat bahwa besarnya arus listrik yang digunakan sebanding dengan tekanan pada evaporator dan kondensor pada setiap jumlah massa refrigeran. Pemakaian arus listrik tertinggi adalah pada massa refrigeran 220 gram dengan pemakai sebesar 1,30 Amper. Dan pemakai arus listrik terendah pada massa refrigeran 60 gram yaitu 0,81 Amper. Semakin rendah tekanan yang dihasilkan maka kerja kompresor yang dibutuhkan juga semakin kecil sehingga besarnya arus listrik yang digunakan untuk menaikkan tekanan oleh kompresor juga semakin kecil.



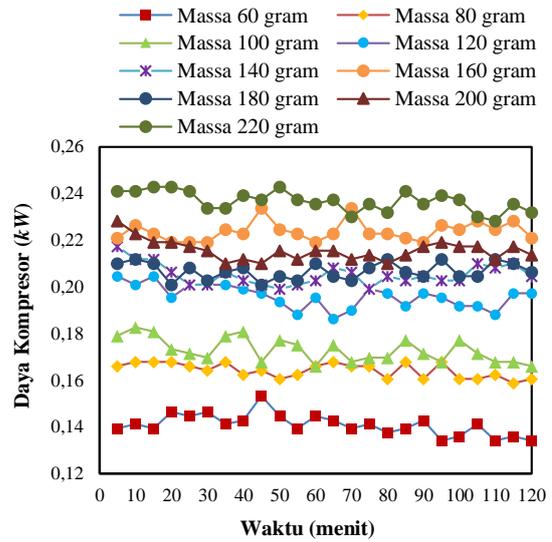
Gambar 8 Grafik perbandingan arus listrik



Gambar 9 Perubahan Arus Listrik Terhadap Penambahan Massa Refrigeran

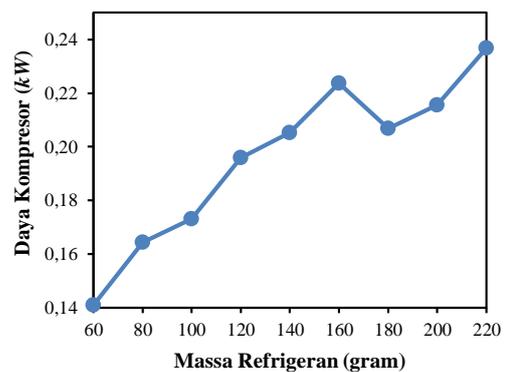
Pada **Gambar 10** dapat dilihat bahwa daya kompresor yang dibutuhkan untuk mengoperasikan mesin kompresi uap berbeda-beda setiap pengisian massa refrigeran. Untuk perubahan daya kompresor pada setiap selang waktu operasi tidak mengalami perubahan yang signifikan sehingga dapat dikatakan daya kompresor stabil setiap selang waktu.

Tetapi jika dilihat pada variasi massa refrigeran seperti yang diperlihatkan oleh **Gambar 11**, daya kompresor mengalami kenaikan sebanding dengan penambahan massa refrigeran. Kenaikan daya kompresor setiap penambahan massa refrigeran rata-rata sebesar 0,016 kW. Daya kompresor maksimum dicapai pada pengisian massa refrigeran 220 gram dengan daya kompresor sebesar 0,24 kW.



Gambar 10 Grafik Perbandingan Daya Kompresor Terhadap Waktu

Sedangkan daya kompresor terendah terjadi pada pengisian massa refrigeran 60 gram dengan daya kompresor sebesar 0,14 kW. Daya kompresor dipengaruhi konsumsi arus listrik dan tegangan listrik yang digunakan kompresor untuk menaikkan tekanan dari tekanan evaporator menuju tekanan kondensor. Semakin kecil selisih tekanan evaporator dengan kondensor maka daya listrik yang diperlukan kompresor untuk menaikkan tekanan refrigeran dari tekanan evaporator menuju tekanan kondensor semakin kecil.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Daya Kompresor terhadap Massa Refrigeran

KESIMPULAN

Pengujian mesin refrigerasi kompresi uap menggunakan refrigerant hidrokarbon HCR-134a dengan variasi massa refrigeran telah dilakukan untuk mengetahui kondisi kerja sistem. Kondisi kerja yang berpengaruh terhadap kinerja mesin refrigerasi tersebut meliputi temperatur dan tekanan evaporator, temperatur dan tekanan kondensor,

temperatur kotak pendingin, dan daya kompresor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk seluruh variasi massa refrigeran, temperatur kotak pendingin dapat turun terhadap waktu operasi dimana rata-rata penurunan temperatur adalah 7 °C. Tekanan evaporator dan tekanan kondensor meningkat dengan meningkatnya jumlah massa refrigeran yang dimasukkan kedalam sistem, mengakibatkan semakin beratnya kompresor. Kenaikan daya kompresor setiap penambahan massa refrigeran rata-rata sebesar 0,016 kW. Semakin kecil selisih tekanan evaporator dengan kondensor maka daya listrik yang diperlukan kompresor untuk menaikkan tekanan refrigeran dari tekanan evaporator menuju tekanan kondensor semakin kecil.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Riau sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arjianto and Kurdi, O. 2007. Pengujian Refrigeran Hycool Hcr-22 Pada Ac Splite Sebagai Pengganti Freon R-22. *Rotasi* 9(2), pp. 42-46-46. doi: 10.14710/rotasi.9.2.42-46.
- Aziz, A. 2009. Studi Eksperimental Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon Substitusi R22 Pada Kondisi Transient. *Teknik Mesin* 6(1), pp. 75-78.
- Aziz, A. et al. 2017. Performance comparison of a refrigerator system using R134a and hydrocarbon refrigerant (HCR134a) with different expansion devices. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 237(1). doi: 10.1088/1757-899X/237/1/012008.
- Aziz, A. and Rosa, Y. 2010. Performansi Sistem Refrigerasi Hibrida Perangkat Pengkondisian Udara Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon Substitusi R-22. *Mechanical Engineering* 7(1), pp. 10-16.
- Azizpour, F. et al. 2013. A thermal comfort investigation of a facility department of a hospital in hot-humid climate: Correlation between objective and subjective measurements. *Indoor and Built Environment* 22(5), pp. 836-845. doi: 10.1177/1420326X12460067.
- Daghigh, R. et al. 2009. Thermal comfort of an air-conditioned office through different windows-door opening arrangements. *Building Services Engineering Research and Technology* 30(1), pp. 49-63. doi: 10.1177/0143624408099448.
- Daghigh, R. 2015. Assessing the thermal comfort and ventilation in Malaysia and the surrounding regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 48, pp. 681-691. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.017>.
- Dalkilic, A.S. and Wongwises, S. 2010. A performance comparison of vapour-compression refrigeration system using various alternative refrigerants. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37(9), pp. 1340-1349. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.07.006>.
- Dhamneya, A.K. et al. 2018. Theoretical performance analysis of window air conditioner combined with evaporative cooling for better indoor thermal comfort and energy saving. *Journal of Building Engineering* 17, pp. 52-64. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.01.012>.
- Harby, K. 2017. Hydrocarbons and their mixtures as alternatives to environmental unfriendly halogenated refrigerants: An updated overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73(February), pp. 1247-1264. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.039>.
- Mageshwaran, G. et al. 2018. Energy saving in an air conditioning system using modified HVAC unit as an energy reducer. *International Journal of Ambient Energy* 39(7), pp. 719-725. Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/01430750.2017.1318790>.
- Prasetyo, E. et al. 2016. Performansi Residential Air Conditioning Hibrida dengan Standby Mode Menggunakan Refrigeran HCR-22 Untuk Pendingin. 3(1), pp. 1-5.
- Wibowo et al 2006. Receiver Tank , Expansion Valve. 4(1), pp. 1-11.