

Karakteristik Refrigeran Musicool Dalam Mesin Refrigerasi Kompresi Uap Menggunakan Evaporator Ganda

Bagiyo Condro Purnomo^{1*}, Noto Widodo¹, Suroto Munahar¹, Dimas Nugroho²

¹Program Studi Mesin Otomotif, Universitas Muhammadiyah Magelang

²Mahasiswa Program Studi Mesin Otomotif, Universitas Muhammadiyah Magelang

*Penulis korespondensi: bagiyo_condro@ummgl.ac.id

Histori artikel: diserahkan 20 Januari 2020, direviu 29 Januari 2020, direvisi 08 Februari 2020

ABSTRACT

Musicool is an alternative refrigerant developed as a working fluid in a steam compression refrigeration system. Musicool has many advantages compared to conventional refrigerants, The advantage is that it is environmentally friendly. This study aims to determine the characteristics of musicool 134 on a steam compression refrigeration machine using a double evaporator. The test was done by comparing the characteristics of a single evaporator refrigeration machine and a double evaporator using musicool 134. The research variable is the airflow through the evaporator that is equal to 0.022 kg / s, 0.027 kg / s, 0.033 kg / s. The test data were taken measuring the temperature and pressure of each component in the refrigeration machine then using the P-h diagram musicool 134, to determine the refrigeration machines performance. The study results provide information that using a double evaporator will give rise to an improved refrigeration system performance compared to using a single evaporator.

Keywords: Vapor Compression Refrigeration system, musicool, hydrocarbons, multi evaporators.

DOI: 10.18196/jqt.010208

Web: <http://journal.umy.ac.id/index.php/qt>

PENDAHULUAN

Penggunaan refrigeran dewasa ini sangat dipengaruhi oleh isu lingkungan yaitu *Global Warming Potential* (GWP) dan *Ozone Depletion Potential* (ODP) (Dalkilic & Wongwises, 2010), (Purnomo & Setiyo 2017), (Daly, 2006), (Han *et al.*, 2013). Saat ini, penggunaan refrigeran kembali lagi seperti periode 1830 sampai 1930, yaitu menggunakan refrigeran alami atau natural seperti *hydrocarbon* (HC), CO₂, N₂ dan lain-lain (Calm 2008). Refrigeran natural menjadi pilihan alternatif pengganti refrigeran CFCs maupun HFCs yang mempunyai efek tidak baik kepada lingkungan (Wang *et al.* 2010). Berikut ini beberapa Refrigeran komersial yang digunakan dalam beberapa dekade terakhir dan efeknya pada lingkungan disajikan pada tabel 1.

Hidrokarbon (HC) menjadi refrigeran alternatif, yang telah lama diujicobakan, dan sekarang

banyak digunakan dalam berbagai bidang *air conditioning system*. Propane (R-290) dan butane (R-600) serta campuran keduanya merupakan hidrokarbon yang memiliki sifat sangat baik sebagai refrigeran (Yang & Wu 2013) (Teng *et al.*, 2012). Penggunaan berbagai variasi campuran komposisi propane dan butane menunjukkan performa yang setara dengan R-134a (Wongwises & Chimres 2005) (Agrawal & Matani 2013).

Hidrokarbon memiliki keunggulan dan, kelemahan dibanding refrigeran sintetik. Kelemahan yang sangat menonjol adalah sifat mampu bakar (*flammable*) yang cukup tinggi dibandingkan refrigeran sintetik yang lain (Zhang *et al.*, 2013) (Liao *et al.*, 2005). Untuk mengurangi sifat mampu bakar tersebut dapat dilakukan dengan menambah gas inert seperti nitrogen (N₂) dan karbondioksida (CO₂) (Liao *et al.*, 2005). Hal lain untuk mengurangi sifat mampu bakar tersebut yaitu dengan mendesain sistem dan peralatan yang akan mengurangi

resiko terjadinya pembakaran akibat digunakannya HC dalam sistem AC (Air

Conditioner) (Colbourne & Suen, 2004).

TABEL 1. Properti beberapa *refrigerants*

Refrigerants	R134a (HFC)	R290 (HC)	R290 (HC)	R290/R600a mixture (HC)	R152a (HFC)	R1234yf (HFO)
<i>Global Warming Potential (GWP)</i>	1400	11	8	7	140	4
<i>Ozone Depletion Potential (ODP)</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Atmospheric Life Time (years)</i>	14	<1	<1	<0.04	2	<0.05
<i>Acute Toxicity Exposure Level (ATEL) (ppm)</i>	50,000	50,000	25,000	40,000	50,000	101,000
<i>Lower Flammability Limit (LFL) (vol.%)</i>	-	2.2	1.7	2.0	3.9	6.5
<i>Minimum Ignition Energy (MIE) (mJ)/Safety Group</i>	-/A1	0.25/A3	0.25/A3	N/A/A3	0.38/A2	>1000/A2L
<i>Molar Mass (kg/kmol)</i>	102.03	44.096	58.122	N/A	66.051	N/A
<i>Vapor Density at 25 °C (kg/m³)</i>	32.35	20.65	9.12	N/A	18.47	N/A
<i>Critical Temperature (°C)</i>	101.1	96.8	135	114.8	113.3	N/A
<i>Critical Pressure (kPa)</i>	4061	4247	3647	4040	4522	N/A
<i>Normal Boiling Point (NBP) (°C)</i>	-26.11	-42.11	-11.78	-31.5	-24.0	N/A
<i>Vapor Cp at 25 °C (kJ/kg K)</i>	1.0316	2.0724	1.8189	1.77	1.2536	1.0

Refrigeran campuran antara propana dan butana dalam hal ini adalah LPG, juga dikembangkan sebagai sistem AC mobil hibrida menggunakan sistem setengah siklus, dimana LPG sebagai bahan bakar kendaraan dalam prosesnya terjadi perubahan fase dari cair ke gas sebelum masuk ke ruang bakar. Perubahan fase tersebut memerlukan energi yang diambil dari udara sekitar (Setiyo *et al.*, 2016). Bahkan telah diaplikasikan pada katup ekspansi dari material PTFE untuk meningkatkan performa dari sistem refrigerasi kompresi uap tersebut (Setiyo *et al.*, 2017).

Sementara itu di Indonesia, refrigeran *hydrocarbon* (HC) yang sudah dikomersialkan adalah produk Pertamina dengan nama *musicool*. *Musicool* diproduksi oleh Pertamina dalam beberapa varian yaitu *musicool* 12, *musicool* 22 dan *musicool* 134. *Musicool* merupakan refrigeran hidrokarbon yang memiliki kelebihan daripada refrigeran konvensional diantaranya adalah tidak perlu penggantian/penambahan komponen pada Mesin AC.

Peningkatan performa mesin AC menggunakan refrigeran *musicool* dilakukan dengan memvariasi jumlah aliran massa refrigeran yang masuk ke evaporator dengan mengatur luas penampang katup ekspansi (Bagiyo *et al.*, 2015). Katup ekspansi ganda yang disusun

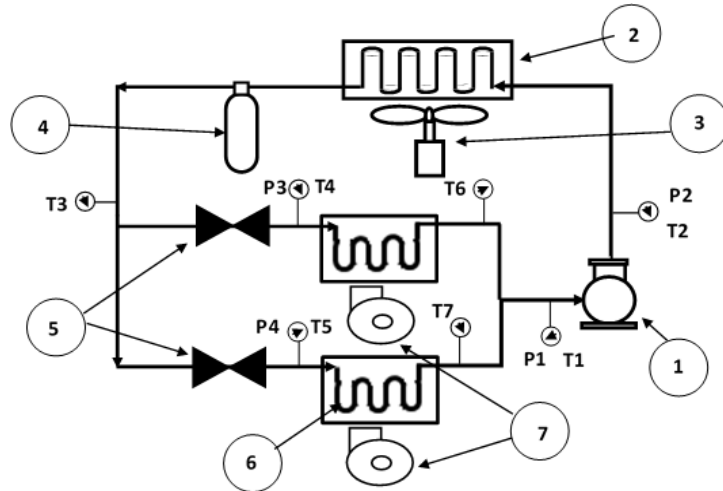
secara parallel memberikan peningkatan performa refrigerasi, hal ini ditunjukkan dari peningkatan nilai COP (Purnomo *et al.*, 2019). Sementara itu, masalah utama dalam sistem refrigerasi adalah irreversibilitas proses ekspansi *isenthalpic*, sehingga membuat penurunan performa sistem AC (Wongwises and Mongkut, 2016). Sementara itu penggunaan multi evaporator akan memberikan efisiensi yang lebih tinggi daripada *single* evaporator (Dwinanto *et al.*, 2017). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sistem refrigerasi menggunakan evaporator ganda dengan refrigeran *musicool*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik refrigeran *musicool* 134 dalam sistem refrigerasi kompresi uap dengan menggunakan evaporator ganda. Lingkup penelitian ini untuk mendapatkan karakteristik penggunaan evaporator tunggal dan ganda dalam sistem refrigerasi kompresi uap. Penelitian dilakukan menggunakan refrigeran *musicool* 134 dengan variasi beban pendinginan sebesar 0,22 Kg/s, 0,27 Kg/s dan 0,33 Kg/s yang diambil dari besarnya aliran massa udara yang melewati masing-masing evaporator. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur besarnya temperatur dan tekanan seperti yang

ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil pengukuran berupa tekanan dan temperatur kemudian diplotkan pada Ph diagram *musicool* 134 untuk mendapatkan nilai dari *enthalpi* masing-masing keadaan. Kemudian dihitung berapa nilai efek

refrigerasi (ER), kerja kompresor (W-komp) dan *coefficient of performance* (COP)



No	Keterangan
1	Kompresor
2	Kondensor
3	Kipas
4	Filter dryer
5	Katup ekspansi
6	Evaporator
7	Blower

GAMBAR 1. Skema Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini menyajikan perbandingan karakteristik mesin refrigerasi kompresi uap menggunakan refrigeran *musicool* 134 dengan

evaporator ganda dan tunggal. Data diambil untuk masing-masing posisi baik tekanan maupun temperatur seperti setup penelitian yang dijelaskan sebelumnya, data dicatat saat kondisi sudah stabil. Tabel 2 dan 3 berikut menunjukkan hasil penelitian pada variasi beban pendinginan 0,22 kg/s, 0,27 kg/s dan 0,33 kg/s.

TABEL 2. Temperatur dan tekanan pada evaporator tunggal

Beban Pendinginan (Kg/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	P1 (Psi)	P2 (Psi)
0,022	15	60	39	1	8	30	200
0,027	14	60	38	0	7	30	200
0,033	13	60	39	1	7	30	200

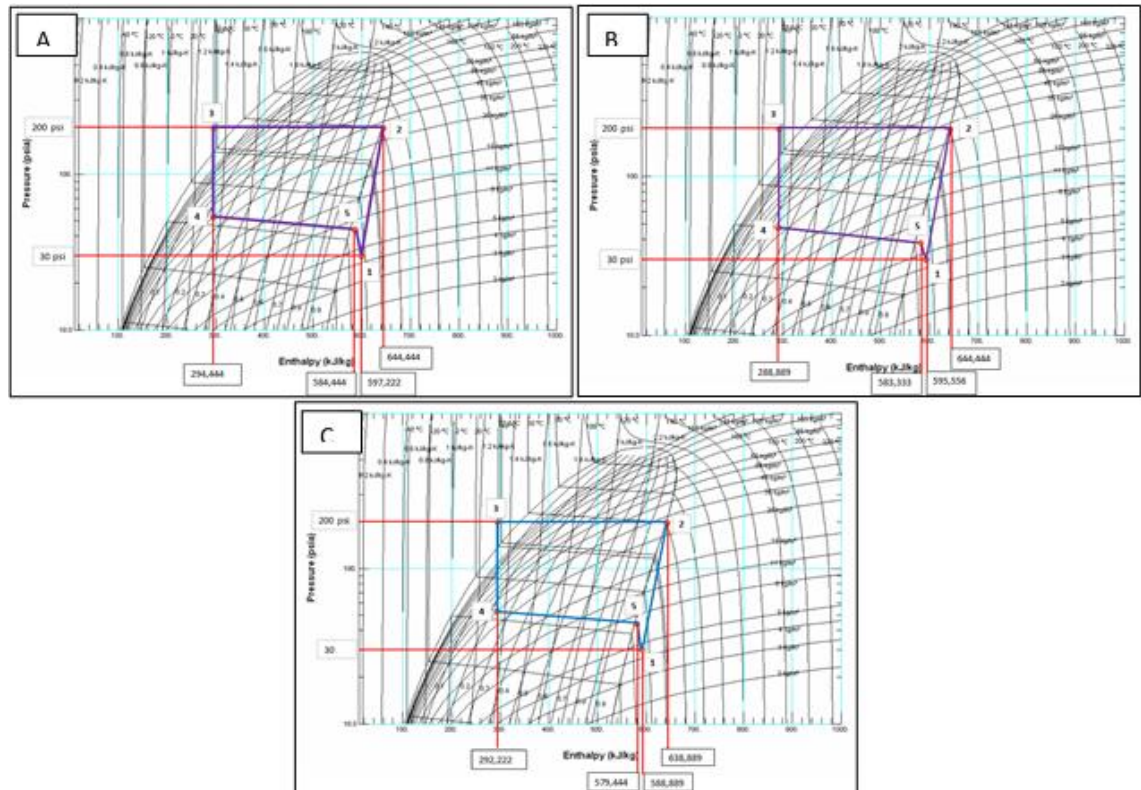
TABEL 3. Temperatur dan tekanan pada evaporator ganda

Beban Pendinginan (Kg/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	P1 (Psi)	P2 (Psi)
0,022	10	68	41	3	1	7	5	31	210
0,027	9	71	43	1	0	8	4	31	210
0,033	9	72	42	0	-1	9	5	32	210

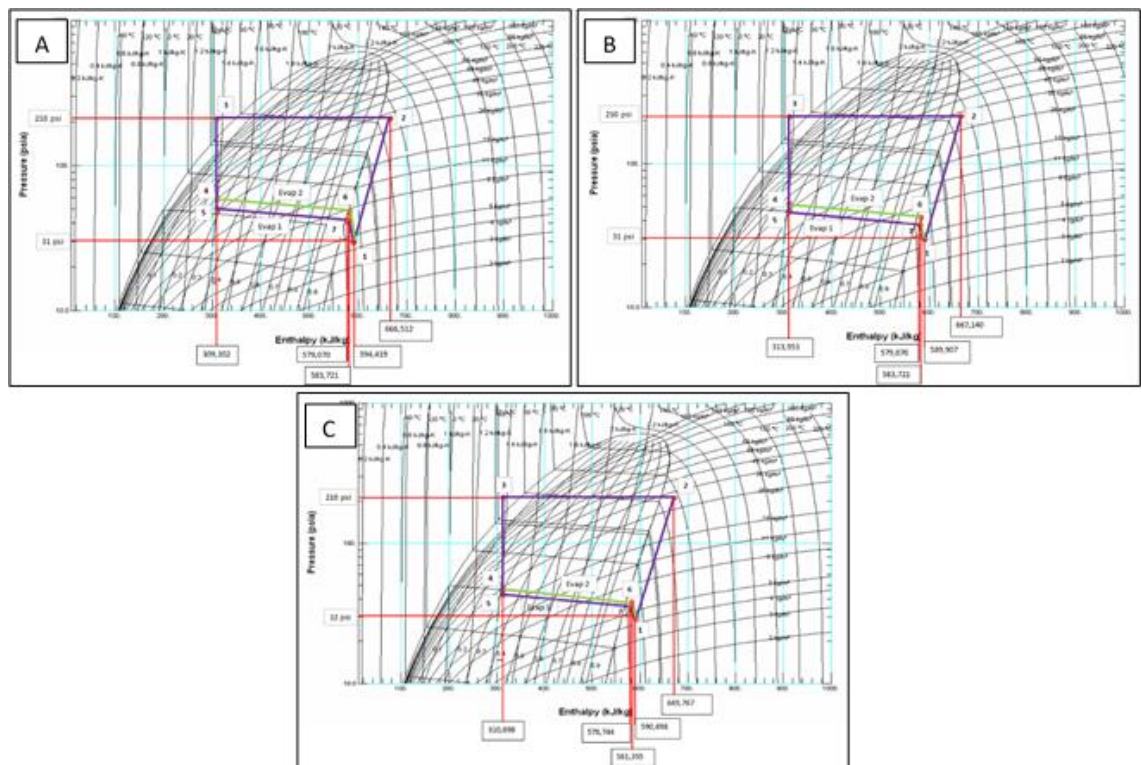
Data pada tabel 2 dan 3 diplot di Ph diagram *musicool* 134 untuk menentukan besarnya *enthalpi* masing-masing. Gambar 2 dan gambar

3 menunjukkan hasil plotting pada diagram Ph *Musicool* 134 untuk evaporator tunggal dan

evaporator ganda dengan variasi beban pendinginan 0,22 kg/s, 0,27 kg/s dan 0,33 kg/s.



GAMBAR 2. Ploting diagram Ph *Musicool* 134 untuk evaporator tunggal : A beban pendinginan 0,22 Kg/s; B beban pendinginan 0,27 Kg/s; C beban pendinginan 0,33 Kg/s



GAMBAR 3. Ploting diagram Ph *Musicool* 134 untuk evaporator ganda : A beban pendinginan 0,22 Kg/s; B beban pendinginan 0,27 Kg/s; C beban pendinginan 0,33 Kg/s

Diagram P-h yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3, sedangkan entalpi disajikan pada Tabel 4 dan 5. Enthalpi tersebut digunakan untuk mengetahui performa mesin refrigerasi kompresi uap dengan menggunakan refrigerant *musicool* 134 pada evaporator tunggal dan ganda pada setiap beban pendinginan. Koefisien

kinerja (COP) dari mesin refrigerasi menggunakan evaporator ganda dapat dihitung menggunakan persamaan 1, (Dincer and Kanoglu 2010):

$$COP = \frac{(\dot{Q}_{evap-1} + \dot{Q}_{evap-2})}{W_{Comp}} \quad (1)$$

TABEL 4. Performa mesin refrigerasi dengan evaporator tunggal

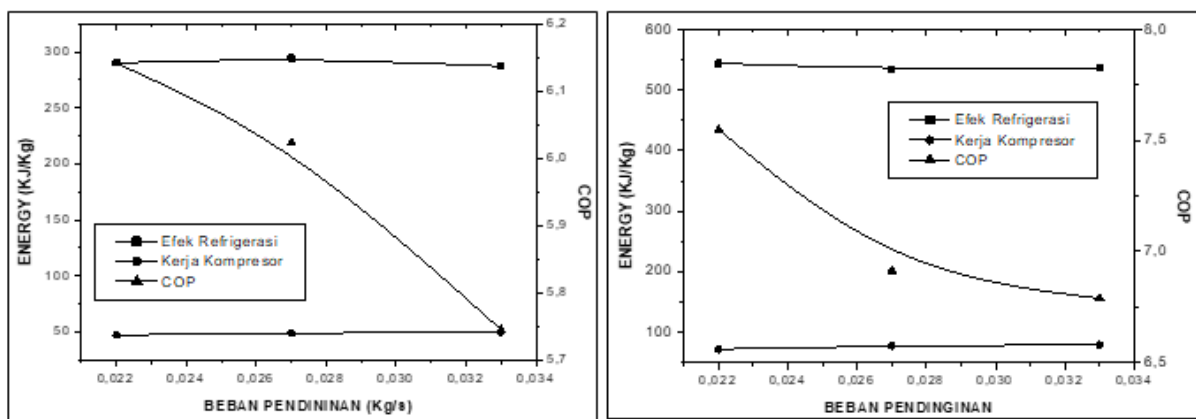
Beban Pendinginan (Kg/s)	h1 (KJ/Kg)	h2 (KJ/Kg)	h3 (KJ/Kg)	h5 (KJ/Kg)	ER (KJ/Kg)	W-komp (KJ/Kg)	COP
0,022	597,222	644,444	294,444	584,444	290	47,222	6,14121
0,027	595,556	644,444	288,889	583,333	294,444	48,888	6,02283
0,033	588,889	638,889	292,222	579,444	287,222	50,000	5,74444

TABEL 5. Performa mesin refrigerasi dengan evaporator tunggal

Beban Pendinginan (Kg/s)	h1 (KJ/Kg)	h2 (KJ/Kg)	h3 (KJ/Kg)	h6 (KJ/Kg)	h7 (KJ/Kg)	Q _{evap-1} (KJ/Kg)	Q _{evap-2} (KJ/Kg)	ER	Wkomp (KJ/Kg)	COP
0,022	594,419	666,512	309,302	583,721	579,07	269,768	274,419	544,187	72,093	7,548
0,027	589,767	667,14	313,953	583,721	579,07	265,117	269,768	534,885	77,373	6,913
0,033	590,698	669,767	310,698	581,395	576,744	266,046	270,697	536,743	79,069	6,788

Gambar 4 menunjukkan kinerja mesin refrigerasi kompresi uap dengan *Musicool* 134 dengan menggunakan evaporator tunggal dan ganda. Pada gambar tersebut dapat dilihat efek refrigerasi (ER) menyebabkan perubahan yang kecil terhadap perubahan beban pendinginan,

akan tetapi terjadi peningkatan kerja kompresor terhadap perubahan beban pendinginan. Hal ini akan berimbas kepada perubahan sistem COP yang cenderung menurun pada evaporator tunggal maupun evaporator ganda.



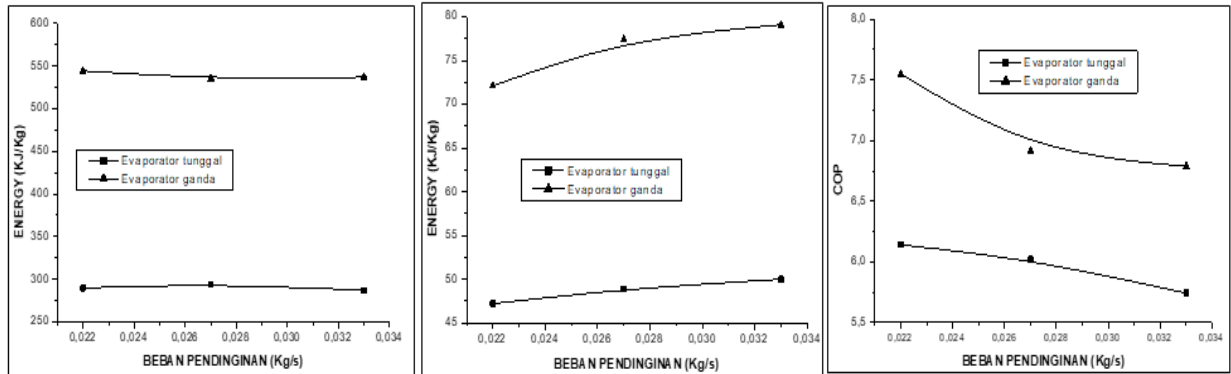
GAMBAR 4. Performa mesin refrigerasi *musicool* 134 dengan evaporator tunggal (kiri) dan evaporator ganda (kanan)

Gambar 5 menunjukan perbandingan performa dari sistem refrigerasi kompresi uap dengan *musicool* 134 antara penggunaan evaporator

tunggal dan ganda. Pada Gambar tersebut menjelaskan bahwa penggunaan evaporator ganda akan meningkatkan performa dari sistem.

Efek refrigerasi mengalami peningkatan yang sangat signifikan karena adanya efek refrigerasi pada masing-masing evaporator. Beban Kompresor pada evaporator ganda meningkatkan temperatur keluar pada kompresor. Penggunaan ini cukup besar apabila dibandingkan dengan penggunaan

evaporator tunggal. Kondisi tersebut maka dapat dipastikan COP juga akan meningkat.



GAMBAR 5. Perbandingan performa sistem refrigerasi pada penggunaan evaporator tunggal dan evaporator ganda; efek refrigerasi (kiri); kerja kompresor (tengah; COP (kanan)

KESIMPULAN

Penggunaan evaporator ganda memberikan peningkatan performa sistem refrigerasi. Peningkatan signifikan terjadi pada efek refrigerasi dengan menggunakan evaporator ganda untuk setiap beban pendinginan. Sejalan dengan hal tersebut nilai COP juga mengalami peningkatan, akan tetapi performa kerja kompresor menurun dengan meningkatnya nilai kerja kompresor. Nilai COP terbaik terjadi pada penggunaan evaporator ganda pada beban pendinginan 22 Kg/s sebesar 7,55 sedang efek refrigerasi terbaik sebesar 544,12 KJ/Kg, kerja kompresor terendah terjadi pada penggunaan evaporator tunggal pada beban pendinginan 22 Kg/s sebesar 47,22 KJ/Kg. Penggunaan multi evaporator untuk dapat meningkatkan sistem refrigerasi, dapat diteliti lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana dengan baik karena banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada LP3M Universitas Muhammadiyah Magelang (UMM), Kepala Laboratorium Mesin Otomotif dan teman-teman laboratorium Mesin Otomotif serta mahasiswa program studi Mesin Otomotif.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, Mukesh K, and Ashok G Matani, 2013. Evaluation of Vapour Compression Refrigeration System Using Different Refrigerants. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 2(9), 86–92.
- Calm, J.M., 2008. The next generation of refrigerants–Historical review, considerations, and outlook. *International Journal of Refrigeration*, 31(7), pp.1123-1133.
- Colbourne, D. and Suen, K.O., 2004. Appraising the flammability hazards of hydrocarbon refrigerants using quantitative risk assessment model Part I: modelling approach. *International journal of refrigeration*, 27(7), pp.774-783.
- Dalkilic, A. S., and S. Wongwises. 2010. A Performance Comparison of Vapour-Compression Refrigeration System Using Various Alternative Refrigerants. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37(9): 1340–1349.
- Daly, Steven. 2006. Igarss 2014 Automotive Air Conditioning and Climate Control Systems.

- Dincer, Ibrahim, and Mehmet Kanoglu. 2010. *Refrigeration Systems And Applications*. Second Edi. A John Wiley and Sons, Ltd.
- Dwinanto, Matheus, Suhanan Suhanan, and Prajitno Prajitno, 2017. Exergy Analysis of a Dual-Evaporator Refrigeration Systems Exergy Analysis of a Dual-Evaporator Refrigeration Systems. *AIP Conference Proceedings*.
- Han, Xiao Hong et al., 2013. Cycle Performances of the Mixture HFC-161 + HFC-134a as the Substitution of HFC-134a in Automotive Air Conditioning Systems. *International Journal of Refrigeration* 36(3): 913–20.
- Liao, S. Y., Q. Cheng, D. M. Jiang, and J. Gao, 2005. Experimental Study of Flammability Limits of Natural Gas-Air Mixture. *Journal of Hazardous Materials* 119(1–3): 81–84.
- Purnomo, B.C., Setiyo, M., Waluyo, B. and Widodo, N., 2019. Characteristics of vapor compression refrigeration system with parallel expansion valves using refrigerant musicool 134. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 674, No. 1, p. 012006).
- Purnomo, B.C. and Setiyo, M., 2017. Karakteristik sistem refrigerasi kompresi uap dengan refrigerant campuran musicool 134-CO₂. *Jurnal Teknologi*, 9(2), pp.57-64.
- Purnomo, B.C. and Budi W. 2015. Optimalisasi Penggunaan Refrigeran Musicool Untuk Meningkatkan Performa Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Dengan Variabel Katup Ekspansi. *Semnastek Universitas Muhammadiyah Jakarta* (November): 1–7.
- Setiyo, M., S. Soeparman, S. Wahyudi, and N. Hamidi. 2016. A Simulation for Predicting Potential Cooling Effect on LPG-Fuelled Vehicles. *AIP Conference Proceedings* 1717.
- Setiyo, M., Saifudin, B.C.P., Waluyo, B. and Ramadhan, A.I., 2017. Temperature Distribution of R-134a Through Aluminum and PTFE Expansion Valve on Automotive Air Conditioning Applications. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(4), pp.1046-1051.
- Teng, T.P., Mo, H.E., Lin, H., Tseng, Y.H., Liu, R.H. and Long, Y.F., 2012. Retrofit assessment of window air conditioner. *Applied Thermal Engineering*, 32, pp.100-107.
- Wang, Kai, Magnus Eisele, Yunho Hwang, and Reinhard Radermacher. 2010. Review of Secondary Loop Refrigeration Systems. *International Journal of Refrigeration* 33(2): 212–34.
- Wongwises, S., Kamboon, A. and Orachon, B., 2006. Experimental investigation of hydrocarbon mixtures to replace HFC-134a in an automotive air conditioning system. *Energy Conversion and Management*, 47(11-12), pp.1644-1659.
- Wongwises, S. and Disawas, S., 2005. Performance of the two-phase ejector expansion refrigeration cycle. *International journal of heat and mass transfer*, 48(19-20), pp.4282-4286.
- Yang, Z. and Wu, X., 2013. Retrofits and options for the alternatives to HCFC-22. *Energy*, 59, pp.1-21.
- Zhang, W., Yang, Z., Li, J., Ren, C.X., Lv, D., Wang, J., Zhang, X. and Wu, W., 2013. Research on the flammability hazards of an air conditioner using refrigerant R-290. *International Journal of Refrigeration*, 36(5), pp.1483-1494.