

Kajian Pengaruh Perubahan Konsentrasi Refrigerant Musicool 134-CO₂ Terhadap Performa Katup Ekspansi Tipe TEV

Bagiyo Condro Purnomo^{1*}, Bambang Hadi Priyanto²

¹Program Studi Mesin Otomotif, Universitas Muhammadiyah Magelang

²Program Studi Teknik Mesin, Akademi Militer Magelang

*Email: bagiyo_condro@ummg.ac.id

doi: <https://doi.org/10.31603/ae.v1i03.2017>

Dipublikasikan oleh Laboratorium Teknik Otomotif Universitas Muhammadiyah Magelang dan Association of Indonesian Vocational Educators (AIVE)

Abstrak

Article Info

Submitted:

16/04/2018

Revised:

22/12/2018

Accepted:

23/12/2018

Artikel ini menyajikan efek penambahan komposisi CO₂ dalam sistem refrigerasi kompresi uap yang menggunakan refrigerant Musicool 134. Penelitian dilakukan untuk mengetahui karakteristik katup ekspansi (TEV) dengan variabel komposisi CO₂ dari 0%, 1,5%, 3% dan 5% pada kecepatan putar kompresor 1000 dan 1500 rpm, penambahan beban pendinginan serta penggunaan IHE. Pengukuran dilakukan dengan mencatat nilai tekanan dan temperatur masuk serta keluar katup ekspansi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan komposisi CO₂ meningkatkan tekanan masuk dan menurunkan tekanan keluar katup ekspansi.

Key words: Hidrokarbon, Musicool, Karbon dioksida, *Air conditioning*

1. Pendahuluan

Isu *global warming potential* (GWP) dan *ozone depleting potential* (ODP) menjadi perhatian yang sangat serius dalam perkembangan teknologi *Air Conditioning* (AC) khususnya perkembangan teknologi refrigerant [1]–[4]. Melihat masyarakat sangat peduli dengan kondisi lingkungan, maka perkembangan penggunaan refrigerant kembali seperti pada periode 1830 sampai 1930 yaitu dengan menggunakan refrigerant natural seperti hydrocarbon (HC), CO₂, N₂ dan lain-lain [5]. Refrigerant natural menjadi pilihan sebagai alternatif pengganti refrigerant CFCs maupun HFCs. Beberapa refrigerant komersial yang digunakan dalam beberapa dekade terakhir dan efeknya pada lingkungan disajikan pada Tabel 1.

Hidrokarbon (HC) menjadi alternatif pengganti refrigerant CFCs dan HFCs merupakan refrigerant yang telah lama diujicobakan dan

dewasa ini banyak diterapkan dalam berbagai bidang *air conditioning system*. Propane (R-290) dan butane (R-600) serta campuran keduanya merupakan hidrokarbon yang memiliki sifat sangat baik sebagai refrigerant, baik itu sifat thermis, kimiawi, maupun fisik [6]. Studi tentang penggunaan Campuran R-290/R-600 dengan berbagai komposisi telah menunjukkan kinerja yang setara dengan R-134a [7], [8]. Penelitian lain juga telah dilakukan dengan refrigerant R-290/ R-600 pada pencampuran rasio 40%/60% untuk menggantikan R-12 [1].

Sementara itu, campuran propana dan butana (LPG) juga diteliti pada sistem AC mobil hibrida menggunakan sistem setengah siklus, baik melalui simulasi maupun eksperimental [9]–[12], bahkan juga telah diaplikasikan pada katup ekspansi dari material PTFE [13].

Tabel 1. Properti beberapa refrigerant [2], [14]

Refrigerants	R134a (HFC)	R290 (HC)	R600a (HC)	R290/R600a mixture (HC)	R152a (HFC)	R1234yf (HFO)
Global Warming Potential (GWP)	1400	11	8	7	140	4
Ozone Depletion Potential (ODP)	0	0	0	0	0	0
Atmospheric Life Time (years)	14	<1	<1	<0.04	2	<0.05
Acute Toxicity Exposure Level (ATEL) (ppm)	50,000	50,000	25,000	40,000	50,000	101,000
Lower Flammability Limit (LFL) (vol.%)	–	2.2	1.7	2.0	3.9	6.5
Minimum Ignition Energy (MIE) (mJ)/Safety Group	–/A1	0.25/A3	0.25/A3	N/A/A3	0.38/A2	>1000/A2L
Molar Mass (kg/kmol)	102.03	44.096	58.122	N/A	66.051	N/A
Vapor Density at 25 °C (kg/m ³)	32.35	20.65	9.12	N/A	18.47	N/A
Critical Temperature (°C)	101.1	96.8	135	114.8	113.3	N/A
Critical Pressure (kPa)	4061	4247	3647	4040	4522	N/A
Normal Boiling Point (NBP) (°C)	–26.11	–42.11	–11.78	–31.5	–24.0	N/A
Vapor Cp at 25 °C (kJ/kg K)	1.0316	2.0724	1.8189	1.77	1.2536	1.0

Sementara itu di Indonesia, refrigerant hydrocarbon (HC) yang sudah dikomersialkan adalah produk Pertamina dengan nama Musicool. Musicool juga sudah mengikuti prosedur keamanan dan keselamatan pada British Standard/BS 4434, AS/NZS-1677, SNI 06-6500-2000, SNI 06- 6511-2000, dan SNI 06-6512-2000. Penelitian menggunakan refrigerant Musicool dengan memvariasi jumlah aliran massa refrigerant yang masuk ke evaporator dengan mengatur luas penampang katup ekspansi [15].

Untuk meningkatkan performa, sebuah studi meninjau karakteristik sistem AC dengan variasi putaran blower sebagai beban pendinginan dan variasi komposisi refrigerant CO₂ pada Musicool 134 (0% CO₂, 1,5% CO₂ dan 3% CO₂). Pada konfigurasi tersebut, dilakukan pengukuran temperatur dan tekanan refrigerant. Hasilnya menunjukkan bahwa refrigerant Musicool 134 yang dicampur dengan CO₂ memberikan kinerja yang menjanjikan sebagai pengganti R-134a [2].

Refrigerant HC walaupun tidak mempunyai efek pada peningkatan ODP dan GWP, namun mempunyai kelemahan. Kelemahan tersebut yaitu nilai mampu bakar (*flammable*) yang cukup tinggi dibandingkan refrigerant yang lain. Penambahan gas inert seperti nitrogen (N₂) dan karbondioksida (CO₂), dapat berfungsi sebagai inhibitor dalam reaksi pembakaran sehingga dapat menurunkan sifat mampu bakar refrigerant

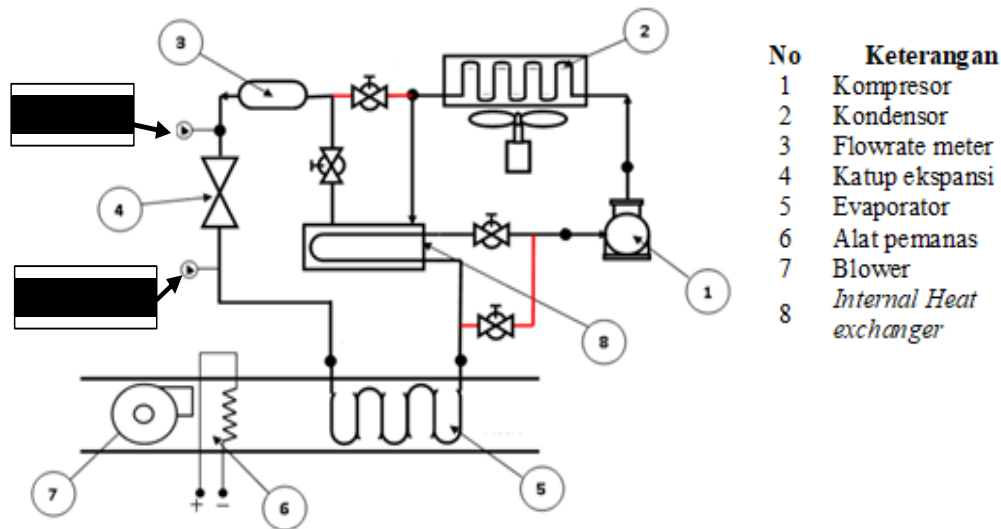
HC [16]. Hal lain yang dilakukan adalah mengkondisikan desain dan peralatan yang akan mengurangi resiko terjadinya pembakaran akibat digunakannya HC dalam system AC [17]. Untuk itu, makalah ini menyajikan efek perubahan konsentrasi Musicool 134-CO₂ terhadap performa katup ekspansi pada sistem AC kendaraan.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan efek perubahan konsentrasi Musicool 134 dengan CO₂ pada sistem refrigerasi kompresi uap. Lingkup penelitian ini memfokuskan pada karakteristik perubahan properties yang masuk dan keluar katup ekspansi, sehingga dapat diketahui performa dari katup ekspansi tersebut. Variabel penelitian berupa komposisi refrigerant Musicool 134 terhadap CO₂ dan kecepatan putar kompresor serta penggunaan *internal heat exchanger* (IHE). Tujuan penggunaan variabel kecepatan putar kompresor adalah untuk menyesuaikan kondisi operasional mobil yang bekerja pada putaran mesin yang berubah-ubah, sehingga diperlukan variabel tersebut untuk mengetahui performa sistem dengan kondisi tersebut, sedangkan penggunaan IHE adalah untuk mendapatkan performa sistem yang lebih baik dengan mendinginkan refrigerant keluar kondensor agar berada pada kondisi *sub-cooling*.

Variabel pendinginan dilakukan dengan menambah pemanas sebesar 600 watt di depan blower seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Penambahan pemanas tersebut bertujuan untuk mensimulasi bahwa beban pendinginan di kabin tersebut juga mengalami perubahan tergantung dari jumlah penumpangnya.

Pada konfigurasi tersebut dilakukan pengukuran temperatur dan tekanan pada masuk dan keluar katup ekspansi. Variabel penelitian terdiri dari konsentrasi CO₂ terhadap Musicool, kecepatan putar kompresor, beban pendinginan dan penggunaan IHE. Peralatan yang digunakan dan spesifikasinya dsajikan pada Tabel 2.



Gambar 1. Set up peralatan dan media uji

Tabel 2. Spesifikasi Media dan Alat Ukur

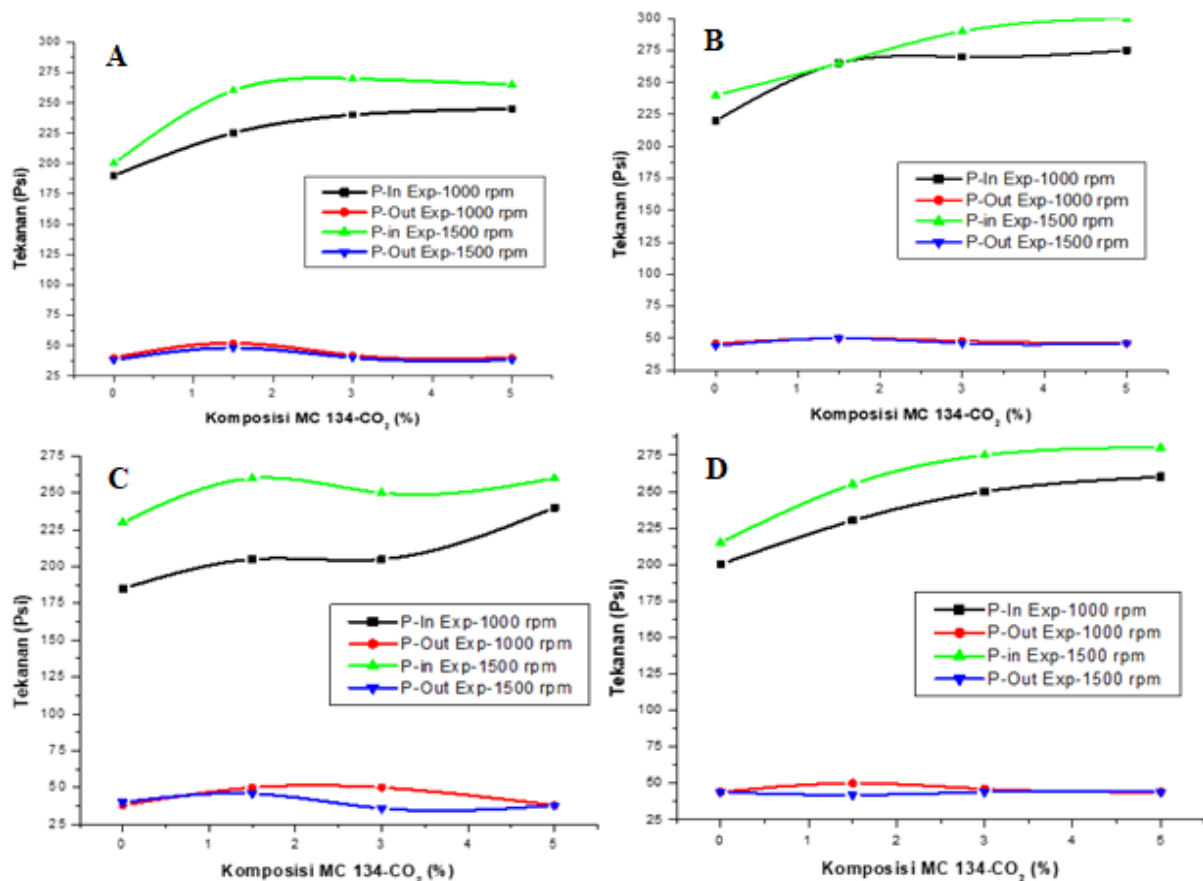
Media dan alat ukur penelitian	Spesifikasi	Media dan alat ukur penelitian	Spesifikasi
Kompresor	Type SD505 - SD 505 - Universal Model Sanden, jenis torak	Katup ekspansi	Jenis TEV (<i>thermo expansion valve</i>)
Evaporator	Evaporator Unit A3 Toyota Kijang, Merk ; DENSO ASLI	Thermocouple	Jenis RTD PT-100, range pengukuran -200°C sampai +1300°C
Kondensor	Spectra premium 7-3782 untuk mazda	Pressure gauge	High & low pressure gauge untuk R134A refrigerant

Pengujian dilakukan dengan variasi konsentrasi berat CO₂ dalam Musicool 134 terhadap berat total *refrigerant* dalam sistem, pada level 0% wt, 1,5 % wt, 3 % wt dan 5 % wt (dimana wt adalah *weight total*), setiap level konsentrasi CO₂ dilakukan variasi pada putaran kompresor 1000 rpm dan 1500 rpm, kemudian dilakukan

variasi beban evaporator dan penggunaan *internal heat exchanger*. Data yang diambil dalam pengujian ini adalah temperatur dan tekanan refrigerant, kemudian dianalisa untuk mengetahui karakteristik performa katup ekspansi jenis *thermo expansion valve* (TEV).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Tekanan terhadap Komposisi MC134-CO₂

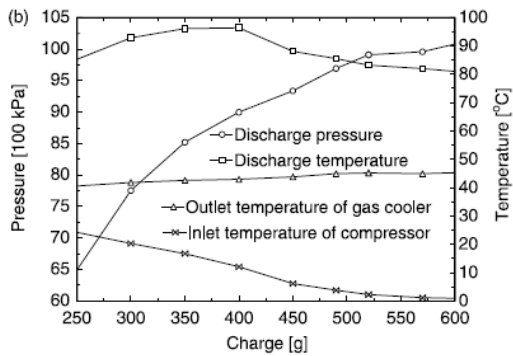


Gambar 2. Karakteristik Tekanan VS Komposisi MC134-CO₂, (A) tanpa beban pendinginan dan tanpa IHE, (B) dengan beban pendinginan dan tanpa IHE, (C) tanpa beban pendinginan dan dengan IHE, (D) dengan beban pendinginan dan dengan IHE

Pada [Gambar 2](#), terlihat bahwa setiap penambahan konsentrasi CO₂ akan meningkatkan tekanan masuk TEV untuk semua variabel penelitian. Hal tersebut karena sifat dari CO₂ memiliki nilai kapasitas volumetrik yang sangat besar sehingga ketika penambahan CO₂ akan membutuhkan volum yang lebih besar supaya tekanan tetap, akan tetapi dengan volume tetap maka yang akan berubah meningkat adalah tekanannya, seperti pada [Appendix 1](#). Hal lain yang dapat dilihat dari [Gambar 2](#), yaitu tekanan keluar TEV menjadi lebih kecil untuk semua variabel penelitian. Seperti penelitian sebelumnya mengatakan bahwa penggunaan CO₂ pada peralatan sistem *air conditioning* dengan refrigerant R-134a akan mengakibatkan kinerja yang kurang baik, sebab refrigerant CO₂ bekerja untuk operasi tekanan tinggi[18].

Karakteristik tekanan masuk katup ekspansi terjadi kenaikan untuk setiap kenaikan kecepatan putar kompresor, akan tetapi terjadi sedikit penurunan tekanan pada saat keluar katup ekspansi. Dengan kecepatan putar kompresor meningkat maka akan terjadi aliran refrigerant meningkat, sehingga mengakibatkan tekanan saat masuk katup ekspansi meningkat akibat penumpukan refrigerant. Selain itu di sisi hisap kompresor terjadi kevakuman sehingga sisi keluar katup ekspansi tekanan sedikit turun.

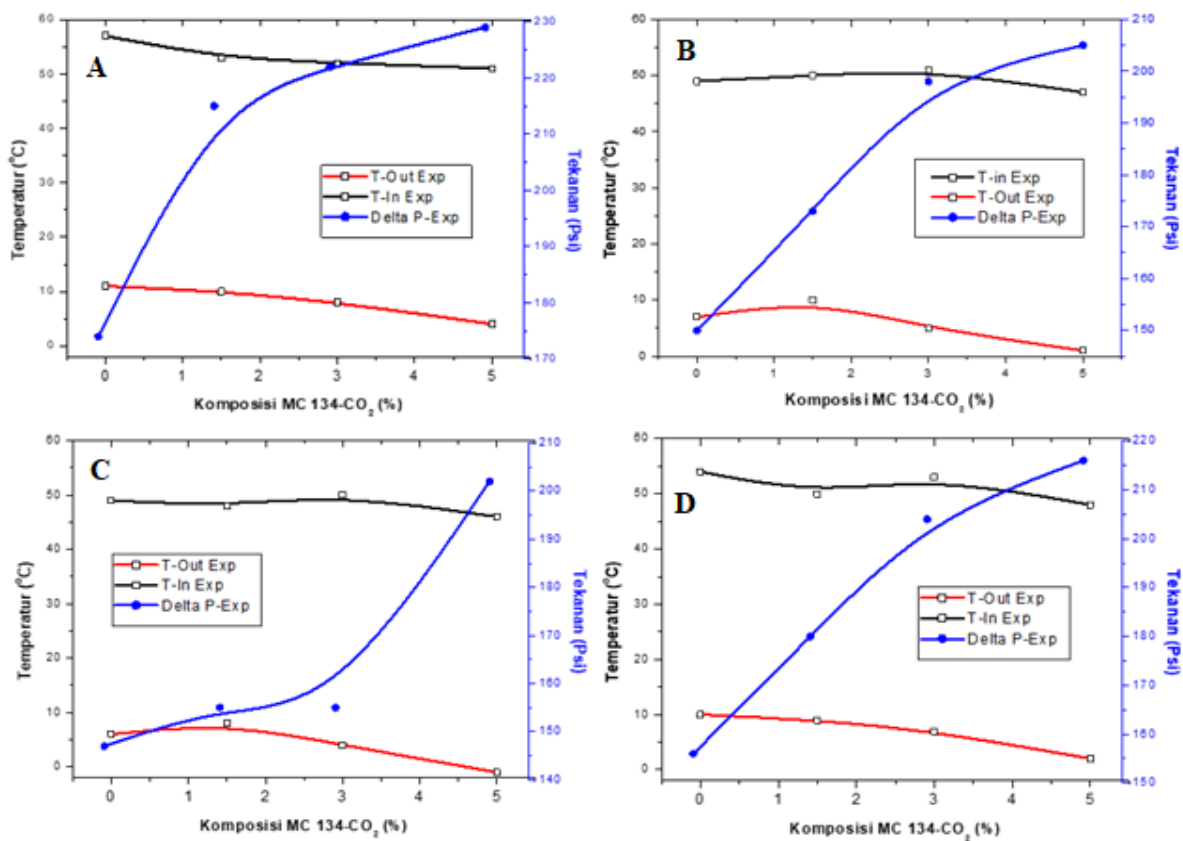
Penambahan komposisi CO₂ dalam system akan meningkatkan tekanan *discharge* kompresor yang akan mempengaruhi tekanan masuk katup ekspansi, hal ini juga dapat dilihat dari penelitian sebelumnya, sebagaimana ditunjukkan dalam [Gambar 3](#).



Gambar 3. Pengaruh massa CO₂ terhadap performa kompresor [19]

Penambahan beban pendinginan juga membuat kenaikan tekanan masuk katup ekspansi pada putaran kompresor yang sama, hal tersebut karena dengan meningkatnya beban pendinginan maka temperatur refrigerant masuk kompresor juga meningkat sehingga tekanan discharge kompresor juga meningkat. Sedangkan untuk penggunaan *internal heat exchanger* (IHE) juga mempengaruhi tekanan masuk katup ekspansi lebih kecil.

3.2. Karakteristik Temperatur terhadap Komposisi MC134-CO₂



Gambar 4. Karakteristik Temperatur VS Komposisi MC134-CO₂ pada putaran 1000 rpm, (A) dengan beban pendinginan dan tanpa IHE, (B) tanpa beban pendinginan dan tanpa IHE, (C) tanpa beban pendinginan dan dengan IHE, (D) dengan beban pendinginan dan dengan IHE

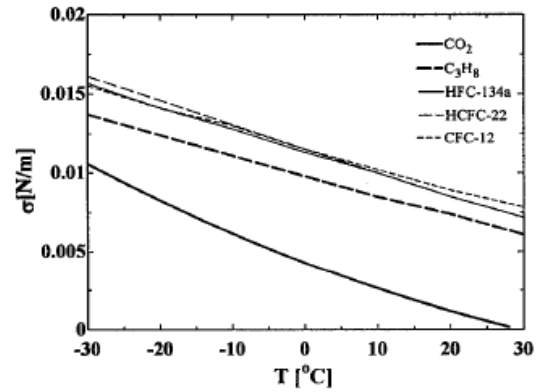
Gambar 4 merupakan hasil pengujian pengaruh penambahan CO₂, penambahan beban pendinginan dan penggunaan IHE untuk kecepatan putar kompresor 1000 rpm, memperlihatkan bahwa penambahan konsentrasi CO₂ akan menurunkan temperatur masuk maupun keluar katup ekspansi. Hal ini dimungkinkan karena karakteristik CO₂ mempunyai tegangan permukaan yang lebih kecil

sehingga akan memberikan koefisien perpindahan panas yang lebih baik pada proses evaporasi seperti Gambar 5.

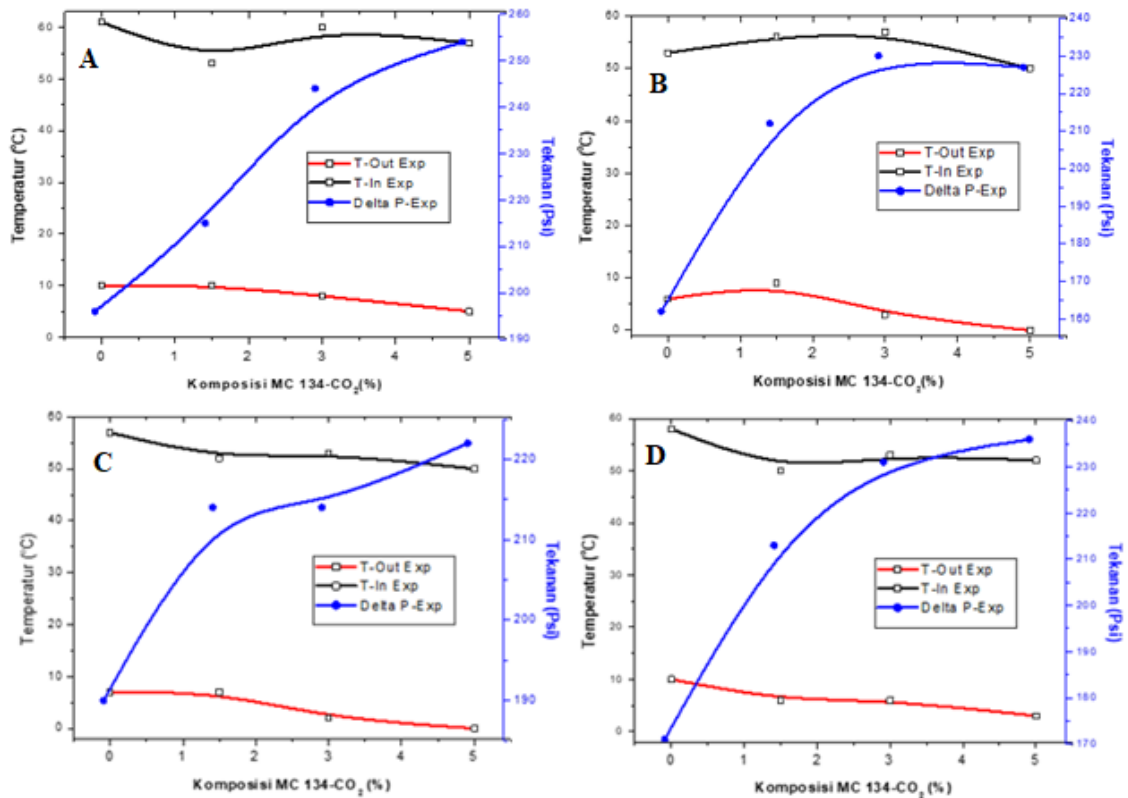
Hal lain juga dengan penambahan beban pendinginan temperatur masuk maupun keluar katup ekspansi akan naik. Ini dikarenakan dengan beban naik maka tekanan kerja akan naik sehingga temperature keluar kompresor juga akan naik. Sedangkan penggunaan *internal heat*

exchanger (IHE) akan menurunkan temperature masuk maupun keluar katup ekspansi. Dengan menggunakan IHE tersebut maka temperatur keluar kondensor akan didinginkan sehingga temperatur masuk dan keluar TEV akan turun.

Sementara itu, penambahan beban pendinginan dan penggunaan IHE untuk kecepatan putar kompresor 1500 rpm disajikan pada Gambar 6.



Gambar 5. Surface tension dari refrigerant [18]



Gambar 6. Karakteristik Temperatur VS Komposisi MC134-CO₂ pada putaran 1500 rpm, (A) dengan beban pendinginan dan tanpa IHE, (B) tanpa beban pendinginan dan tanpa IHE, (C) tanpa beban pendinginan dan dengan IHE, (D) dengan beban pendinginan dan dengan IHE

Dari Gambar 6, penambahan konsentrasi CO₂ akan menurunkan temperatur masuk maupun keluar katup ekspansi, akan tetapi temperatur masuk TEV lebih besar dibandingkan pada 1000 rpm, serta temperatur keluar TEV juga lebih rendah dibanding pada 1000 rpm. Hal senada juga dengan penambahan beban pendinginan temperatur masuk maupun keluar katup ekspansi akan naik. Sedangkan penggunaan *internal heat exchanger* (IHE) akan

menurunkan temperature masuk maupun keluar katup ekspansi.

4. Kesimpulan

Hasil studi ini memberikan kesimpulan sebagai berikut :

- a) Tekanan masuk katup ekspansi meningkat dengan bertambahnya konsentrasi CO₂, naiknya kecepatan putar kompresor, dan penambahan beban pendinginan.

- b) Sedangkan untuk penggunaan *internal heat exchanger* (IHE) akan menurunkan tekanan masuk katup ekspansi.
- c) Penambahan konsentrasi CO₂, dan penambahan beban pendinginan akan menurunkan temperature masuk maupun keluar katup ekspansi.
- d) Sedangkan penggunaan *internal heat exchanger* (IHE) akan menurunkan temperature masuk maupun keluar katup ekspansi.

Ucapan Terimakasih

Artikel ini merupakan bagian dari proyek pengembangan kendaraan ramah lingkungan dengan penggunaan refrigerant hidrokarbon (Musicool) di Laboratorium Otomotif Universitas Muhammadiyah Magelang. Oleh karena itu, diucapkan terimakasih kepada teknisi dan mahasiswa yang telah terlibat dalam proyek pengembangan ini.

Referensi

- [1] A. S. Dalkilic and S. Wongwises, "A performance comparison of vapour-compression refrigeration system using various alternative refrigerants," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37, no. 9, pp. 1340–1349, 2010.
- [2] B. C. Purnomo and M. Setiyo, "Karakteristik sistem refrigerasi kompresi uap dengan refrigerant campuran musicool 134 - CO₂," *Jurnal Teknologi*, vol. 9, no. 2, 2017.
- [3] X. H. Han, P. Li, Y. J. Xu, Y. J. Zhang, Q. Wang, and G. M. Chen, "Cycle performances of the mixture HFC-161 + HFC-134a as the substitution of HFC-134a in automotive air conditioning systems," *International Journal of Refrigeration*, vol. 36, no. 3, pp. 913–920, 2013.
- [4] R. K. Shah, "Automotive Air-Conditioning Systems – Historical Developments, The State of Technology and Future Trends," in *Proceedings of the 3rd BSME-ASME International Conference on Thermal Engineering*, 2006, no. December, pp. 20–22.
- [5] J. M. Calm, "The next generation of refrigerants – Historical review , considerations , and outlook 5 ´ ne ´ ration de frigoriges ´ nes – historique , analyse La prochaine ge et perspectives," vol. 31, pp. 1123–1133, 2008.
- [6] Z. Yang and X. Wu, "Retrofits and options for the alternatives to HCFC-22," *Energy*, vol. 59, no. 2013, pp. 1–21, 2013.
- [7] S. Wongwises and N. Chimres, "Experimental study of hydrocarbon mixtures to replace HFC-134a in a domestic refrigerator," *Energy Conversion and Management*, vol. 46, pp. 85–100, 2005.
- [8] M. K. Agrawal and A. G. Matani, "Evaluation of Vapour Compression Refrigeration System Using Different Refrigerants," *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, vol. 2, no. 9, pp. 86–92, 2013.
- [9] M. Setiyo, S. Soeparman, N. Hamidi, S. Wahyudi, and M. Hanafi, "Numerical study on cooling effect potential from vaporizer device of LPG vehicle," *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 12, no. 7, 2017.
- [10] M. Setiyo, D. Syaka, B. Waluyo, N. Hamidi, B. Kiono, and J. Semarang, "Cooling effect potential from liquefied petroleum gas flow in the fuel line of vehicle," *International Journal of Automotive and Mechanical EngineeringOnline*, vol. 14, no. 4, pp. 2229–8649, 2017.
- [11] M. Setiyo, B. C. Purnomo, B. Waluyo, D. R. B. Syaka, and N. Hamidi, "Refrigeration effect and energy efficiency ratio (EER) calculation of 1/2 cycle refrigeration system on LPG-fueled vehicles," 2018.
- [12] M. Setiyo, S. Soeparman, S. Wahyudi, and N. Hamidi, "A simulation for predicting potential cooling effect on LPG-fuelled vehicles," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1717, 2016.
- [13] M. Setiyo, Saifudin, B. C. Purnomo, B. Waluyo, and A. I. Ramadhan, "Temperature Distribution of R-134a Through Aluminum and PTFE Expansion Valve on Automotive Air Conditioning Applications," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 12, no. 4, pp. 1046–1051, 2017.
- [14] K. Wang, M. Eisele, Y. Hwang, and R.

- Radermacher, "Review of secondary loop refrigeration systems," *International Journal of Refrigeration*, vol. 33, no. 2, pp. 212–234, 2010.
- [15] B. C. Purnomo and B. Waluyo, "Optimalisasi penggunaan refrigeran musicool untuk meningkatkan performa sistem refrigerasi kompresi uap dengan variabel katup ekspansi," *Semnastek Universitas Muhammadiyah Jakarta*, no. November, pp. 1–7, 2015.
- [16] S. Y. Liao, Q. Cheng, D. M. Jiang, and J. Gao, "Experimental study of flammability limits of natural gas-air mixture," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 119, no. 1–3, pp. 81–84, 2005.
- [17] D. Colbourne and K. O. Suen, "Appraising the flammability hazards of hydrocarbon refrigerants using quantitative risk assessment model Part I: Modelling approach," *International Journal of Refrigeration*, vol. 27, no. 7 SPEC. ISS., pp. 774–783, 2004.
- [18] W. Yang, "A Simulation Study of CO₂ Automotive Air Conditioning System," University of Windsor, 2004.
- [19] H. Liu, J. Chen, and Z. Chen, "Experimental investigation of a CO₂ automotive air conditioner," *International Journal of Refrigeration*, vol. 28, pp. 1293–1301, 2005.

Appendix 1. Karakteristik dan properti refrigerant

Refrigerants		CFC -12	HCFC -22	HFC -134a	NH ₃	C ₃ H ₈	CO ₂
Environmental Property	Natural substance	No	No	No	Yes	Yes	Yes
	ODP (Ozone Depletion Potentials)	1.0	0.05	0	0	0	0
	GWP (Global Warming Potentials) (100 years)	7100	1500	1200	0	0	1
Safety	Toxic or irritating decomposition products	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
	Flammable or explosive	No	No	No	Yes	Yes	No
Thermophysical property	Molar mass [kg/kmol]	120.92	86.48	102.03	17.03	44.10	44.01
	Critical Temperature [°C]	112.0	96.0	101.1	133.0	96.7	31.1
	Critical Pressure [MPa]	4.11	4.97	4.07	11.42	4.25	7.38
	Volumetric refrigeration capacity at 0 °C [kJ/m ³]	2740	344	2860	4360	3870	22600
Approx. relative price		1	1	3 - 5	0.2	0.1	0.1
First commercially used as a refrigerant		1931	1936	1990	1859	N/A	1869