



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <https://ojs2.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Penggunaan refrigeran hidrokarbon MC-134 pada mesin freezer untuk pedagang es krim keliling

I Dewa Made Susila^{1*}, Daud Simon Anakottapary¹, I Wayan Adi Subagia¹, Putu Wijaya Sunu², dan I Nengah Ardita²

¹Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

²Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas MEP, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

*Email: dewamadesusila@pnb.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dengan tujuan mengevaluasi unjuk kerja dan konsumsi energi pada mesin freezer untuk penjual es krim keliling menggunakan refrigeran ramah lingkungan MC134 dengan kapasitas kompresor 1/10 HP. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen. Ukuran pipa kapiler ditentukan dengan menggunakan program aplikasi *Cap Tube 1.0.8.0*. Evaporator yang digunakan adalah tipe *bare tube* yang dililitkan pada kotak es krim. Pengujian dilakukan dengan mengukur suhu dan tekanan refrigeran, suhu di dalam kotak es krim, serta arus dan tegangan listrik dalam sistem. Hasil analisis performansi dan konsumsi energi juga akan dibandingkan jika sistem menggunakan refrigeran HFC134a. Dari hasil pengujian didapatkan massa optimum yang dimasukkan ke dalam sistem untuk refrigeran MC134 adalah 155 gram dan massa optimum untuk R-134a adalah 202 gram. Penggunaan refrigeran MC134 lebih hemat sebesar 23,3%. COP untuk refrigeran MC134 adalah 3,1 sedangkan COP untuk R134a adalah 2,7. Konsumsi energi untuk MC134 adalah 67,8 kJ sedangkan untuk R134a adalah 83 kJ.

Kata kunci: freezer, performansi, konsumsi energi, refrigerant MC-134

Abstract: This study aims to determine the performance and energy consumption of the freezer machine for mobile ice cream sellers using the environmentally friendly MC134 refrigerant with a compressor capacity of 1/10 HP. This research was conducted using an experimental method. The size of the capillary tube is determined using the *Cap Tube 1.0.8.0* application program. The evaporator used is a *bare tube* type that is wrapped around an ice cream box. The test is carried out by measuring the temperature and pressure of the refrigerant, the temperature in the ice cream box, as well as the electric current and voltage in the system. The results of the analysis of performance and energy consumption will also be compared if the system uses HFC134a refrigerant. From the test results obtained the optimum mass that is filled into the system for MC134 refrigerant is 155 grams and the optimum mass for 134a refrigerant is 202 grams. The use of MC134 refrigerant is more efficient by 23.3%. The COP for MC134 refrigerant is 3.1 while the COP for 134a refrigerant is 2.7. The energy consumption for MC134 is 67.8 kJ while for R134a is 83 kJ.

Keywords: freezer, performance, energy consumption, MC134 refrigerant

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Es krim menjadi salah satu es sajian berbentuk beku dibuat dengan membekukan campuran produk susu, gula, penstabil, pengemulsi dan bahan-bahan lainnya. Es krim tidak asing lagi dikalangan semua usia karena hampir semuanya menyukai es krim. Untuk menjaga agar es krim tetap dalam kondisi dingin dan beku maka pedagang es krim keliling menggunakan es balok yang diserut kemudian ditempatkan disekitar tabung/wadah penyimpanan es krim. Namun saat ini sudah mulai digunakan *blue ice* atau *ice pack* untuk menjaga agar es krim yang dijajakan berkeliling tetap dingin dan beku. Namun demikian bahan yang digunakan sebagai pendingin

itu lama kelamaan tentu akan menurun temperaturnya sehingga es krim-pun akan turun juga temperaturnya.

Oleh karena itu perlu memanfaatkan teknologi refrigerasi untuk menjaga kondisi es krim agar tetap stabil yaitu menggunakan mesin refrigerasi seperti *freezer*. Mesin refrigerasi konvensional menggunakan siklus refrigerasi kompresi uap. Penggunaan refrigeran konvensional yang mempunyai dampak terhadap penipisan ozon dan pemanasan global sudah tidak boleh diproduksi lagi.

Dunia saat ini mencari refrigeran yang tidak berkontribusi terhadap pemanasan global dan penipisan lapisan ozon. Pengujian performansi pada mesin *showcase* buah dengan menggunakan fluida kerja R134a dan

MC134, dari hasil pengujiannya disimpulkan bahwa dengan R134a didapatkan COP aktual = 2,528 dan dengan menggunakan MC134 didapatkan COP aktual = 2,710 [1]. Penelitian katup ekspansi ganda yang dipasang paralel pada mesin dengan siklus refrigerasi kompresi uap yang menggunakan MC134 dengan memvariasri beban pendinginan 0,23; 0,33; dan 0,39 kg/s diamati selama sistem bekerja hingga kondisi tunak, memberikan efek positif terhadap efek refrigerasi dan COP. Efek refrigerasi tertinggi yang dihasilkan sebesar 257 kJ/kg dan COP sebesar 5,84 [2]. Pada penelitiannya yang terdahulu bahwa penggunaan MC134 mempunyai kinerja sistem refrigerasi terbaik dengan penyetelan alat ekspansi -180° . Pada posisi itu mempunyai kerja kompresi relatif rendah dan kerja kompresor menjadi ringan dan tidak membutuhkan energi yang besar saat beroperasi [3].

Mesin refrigerasi skala kecil seperti freezer maupun lemari es saat ini masih menggunakan refrigeran R-134a. Refrigeran jenis ini termasuk golongan HFC dengan potensi pemanasan global (*GWP*) yang tinggi yaitu 1300 [4]. Penelitian untuk mengevaluasi pengaruh temperatur evaporasi terhadap kinerja mesin pendingin menggunakan refrigeran R-134a dan MC-134 pada tekanan pengisian refrigeran yang optimal. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa tekanan pengisian yang optimal untuk R134a adalah 20 bar-g dan untuk MC-134 adalah 25 bar-g. Diperoleh efek refrigerasi meningkat 106,43%, kerja kompresor naik 70,22%, daya kompresor turun 12,64%, energi listrik juga turun 14,69% dan COP naik 21,37% untuk MC-134 bila dibandingkan dengan R134a [5].

Penelitian tentang perbandingan performansi freezer 1/5 PK dengan R-134a dan Musicool (MC-134) menyimpulkan bahwa retrofit dari R-134a menjadi Musicool MC-134 sangat bisa dan layak untuk digunakan tanpa mengubah komponen pendukung sistem [6]. Dari penelitiannya juga dilaporkan adanya penurunan temperatur jauh lebih cepat dibandingkan dengan R-134a dengan nilai 30% lebih cepat pada temperatur set point -18°C . Refrigeran hidrokarbon (HC) mempunyai unjuk kerja (performansi) yang lebih baik dibandingkan dengan refrigeran dari golongan HCFC maupun HFC. Di Uni Eropa (UE), HFC saat ini sedang dihentikan karena nilai *GWP*-nya yang tinggi [7].

Refrigeran hidrokatbon (HC) memiliki potensi yang baik untuk menggantikan HCFC sepenuhnya sebagai refrigeran dimasa depan karena kinerjanya sesuai dengan refrigeran HCFC dan masalah mudah terbakar dapat diatasi dengan penggunaan desain yang efektif dan keamanannya ditingkatkan [8]. Penggunaan refrigeran alami seperti CO_2 , NH_3 dan hidrokarbon seperti R290, R600, R600a dan campuran hidrokarbon adalah solusi yang mungkin untuk refrigeran konvensional dan digunakan secara efisien di banyak system [9].

Salah satu jenis refrigeran hidrokarbon yang diproduksi oleh Pertamina UP III bekerja sama dengan Penelitian & Laboratorium (P&L) Bidang Pengolahan Direktorat Hilir Pertamina Kantor Pusat adalah Musicool 134 [10]. Musicool 134 yang disingkat dengan MC134 merupakan refrigeran pengganti R134a. Refrigeran hidrokarbon merupakan refrigeran ramah lingkungan karena tidak berdampak negatif terhadap pemanasan global maupun penipisan lapisan ozon. MC134 merupakan refrigeran

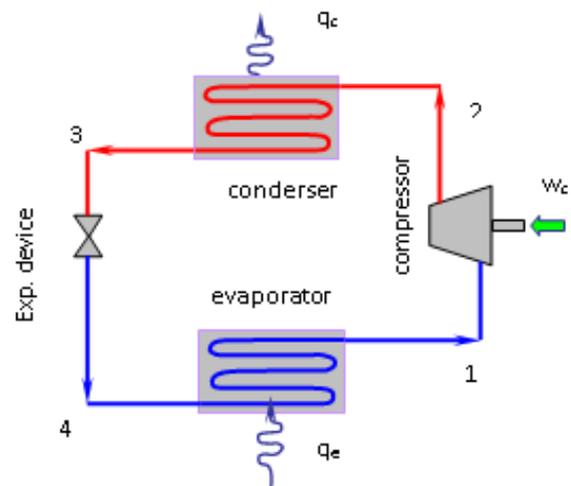
hidrokarbon campuran antara *Propane* (R290) dan *Iso Butane* (R600).

Telah dilakukan penelitian untuk menemukan refrigeran alternatif pengganti R22, R134a dan R404A dengan hidrokarbon pada mesin refrigerasi dengan siklus refrigerasi kompresi uap yang dilengkapi dengan LSHX. Refrigeran hidrokarbon yang digunakan adalah R600 dan refrigeran campuran R290/R600a dengan perbandingan 50:50. Disimpulkan bahwa campuran refrigeran R290/R600a dengan perbandingan 50:50 dapat digunakan sebagai substitusi R404A dan R22, sedangkan refrigeran 600 dapat digunakan sebagai substitusi R134a [11]. Sifat mudah terbakar hidrokarbon membutuhkan pemahaman penuh tentang penggunaannya yang aman pada mesin lemari es [12].

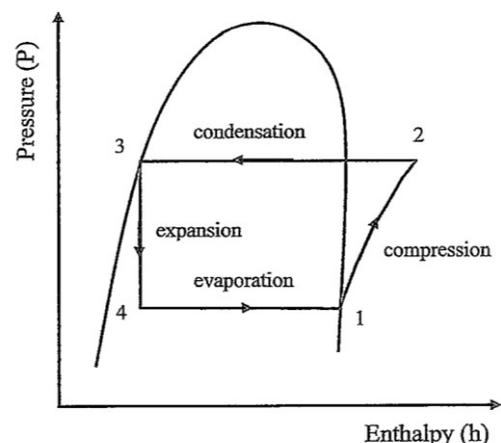
Penelitian tentang potensi perolehan penghematan energi listrik pada kulkas dengan konversi dari R-134a ke hidrokarbon MC134 untuk dialokasikan di rumah tipe sederhana menyimpulkan bahwa koversi refrigeran pada kulkas dari R-134a menjadi MC134 bisa diperoleh penghematan energi listrik sebesar 20% [13].

2. Studi Literatur

2.1. Siklus refrigerasi kompresi uap



Gambar 1. Diagram kerja siklus refrigerasi kompresi uap



Gambar 2. Diagram P-h siklus refrigerasi kompresi uap ideal.

Mesin freezer yang digunakan untuk pedagang es krim ini menggunakan siklus refrigerasi kompresi uap. Komponen utama dari siklus refrigerasi kompresi uap adalah kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator. Parameter performansi yang penting dari siklus refrigerasi kompresi uap adalah koefisien performansi dan konsumsi energinya.

2.2 Koefisien Performansi (COP)

Koefisien performansi, COP merupakan energi yang dapat dimanfaatkan, yang dirumuskan dengan efek refrigerasi dibagi dengan kerja yang diperlukan oleh sistem, berupa kerja kompresi. COP dinyatakan dengan rumusan:

$$COP = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1) \tag{1}$$

2.3. Konsumsi Energi (E_c)

Untuk menghitung konsumsi energi (E_c) digunakan rumusan:

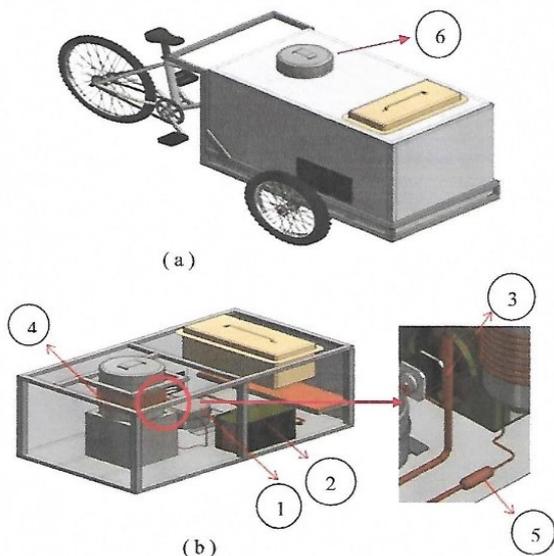
$$E_c = (V \times I \times \text{Cos } \phi) \times t \tag{2}$$

dimana:

- V = tegangan listrik (Volt)
- I = arus listrik (Amper)
- Cos φ = faktor daya.
- t = waktu (menit)

3. Metoda Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui uji eksperimen pada prototipe mesin freezer es krim keliling yang dirancang dengan kapasitas kompresor 1/10 HP dengan menggunakan refrigeran MC134. Ukuran pipa kapiler ditentukan dengan menggunakan program aplikasi CapTube 1.0.8.0 dimana didapatkan pasangan diameter dan panjang pipa kapiler yaitu diameter 0.028 inch dan panjang 1,452 m. Evaporator yang digunakan mempunyai luas bidang perpindahan panas 5,1 feet² dengan diameter luar pipa tembaga 3/8 inch dan panjang pipa 15,8 meter. Pipa evaporator dibentuk menjadi koil dan dibelitkan pada dinding bagian luar boks es krim.

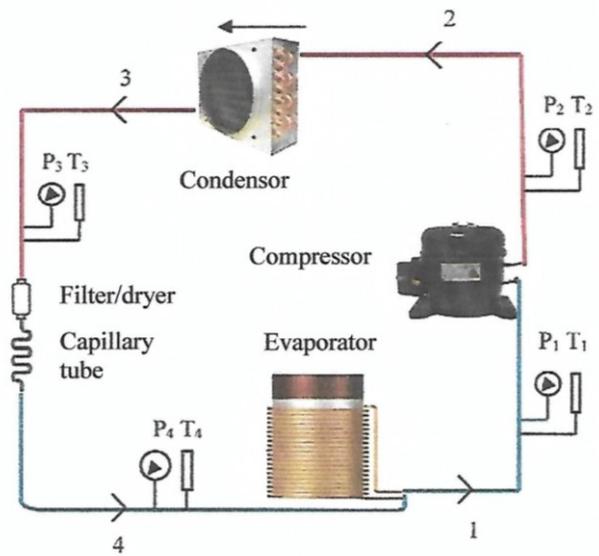


Gambar 3. Rancangan mesin freezer es krim keliling

Keterangan: (1) Kompresor, (2) Kondensor, (3) Pipa kapiler, (4) Evaporator, (5) Filter/dryer, (6) ice cream boc

Tekanan dan temperatur diukur pada 4 titik pengukuran yang sudah terpasang pada prototipe mesin freezer es krim keliling. Untuk temperatur ditambahkan pengukurannya pada 2 titik lagi yaitu ditengah-tengah evaporator dan ditengah-tengah kondensor. Tekanan diukur dengan menggunakan oil pressure gauge dalam satuan Psig. Sedangkan temperatur diukur dengan termokopel tipe K yang dihubungkan dengan temperature display dalam satuan °C.

Untuk menentukan COP dari R-134a akan digunakan bantuan program aplikasi Mollier Chart 1.2.0.3, sedangkan untuk menentukan COP dari MC-134 menggunakan diagram P-h dari MC134 karena belum ditemukan program aplikasinya.



Gambar 4. Diagram pemipaan dan penempatan alat ukur

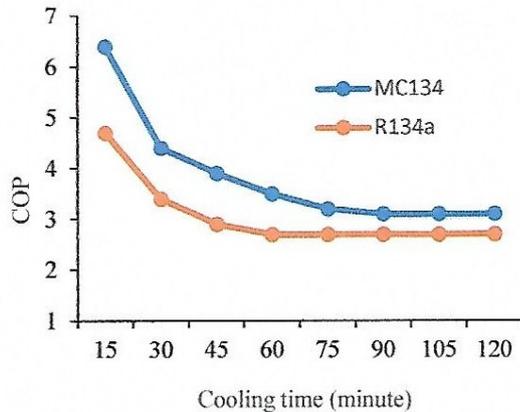
4. Hasil dan Pembahasan

Karena refrigeran hidrokarbon MC134 ini digunakan sebagai pengganti refrigerant R134a, maka selain pengujian refrigerant hidrokarbon MC134, pengujian juga dilakukan pada refrigerant R-134a. Kedua jenis refrigeran tersebut diuji pada kondisi yang sama. Dari pengujian kedua jenis refrigeran pada mesin freezer penjual es krim keliling, massa optimum refrigeran HFC-134a yang terisi ke dalam sistem adalah 202 gram sedangkan massa optimum untuk refrigeran MC134 adalah 155 gram. Dilihat dari massa refrigerannya, massa optimum MC134 adalah sebesar 76,7% dari massa optimum HFC-134a. Hasil pengujian berupa performansi sistem dan konsumsi energi akan dijelaskan pada grafik di bawah ini.

4.1 Variasi COP dan waktu pendingina

Dari Gambar 5 di atas dapat dilihat bahwa kurva untuk R-134a dan MC134 pada awal pendinginan kurva COP-nya lebih besar. Namun semakin lama waktu pendinginan kurva COP-nya menurun dan cenderung konstan setelah menit ke 60. Hal ini disebabkan karena semakin lama pendinginan temperatur evaporator terus menurun sampai mencapai temperatur -19°C. Rata-rata COP untuk R134a adalah 2,7 dan COP untuk MC134a adalah 3,1. Kurva untuk R-134a dan MC134 terlihat identik, sehingga dapat

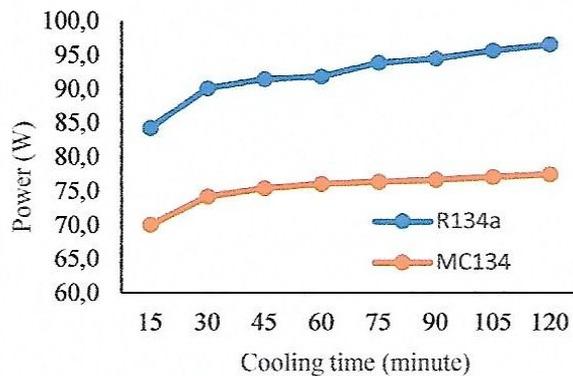
dikatakan bahwa MC134 sangat cocok digunakan sebagai pengganti dari R-134a. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Rusmaryadi dkk [6].



Gambar 5. Variasi COP dan waktu pendinginan

4.2 Variasi daya listrik dan waktu pendinginan

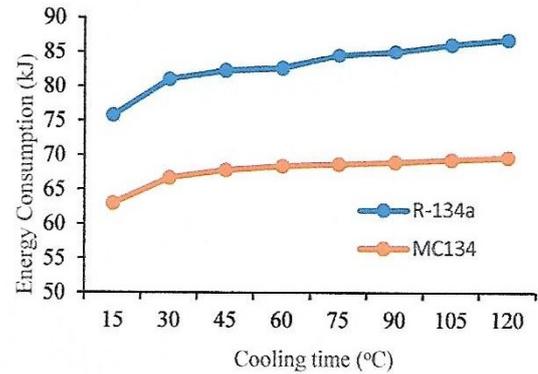
Dari Gambar 6 di atas dapat dilihat bahwa pada awal pendinginan daya yang dibutuhkan dengan menggunakan refrigeran R-134a maupun MC134 lebih kecil. Hal ini disebabkan karena rasio kompresinya masih kecil, namun lama kelamaan dengan bertambahnya waktu pendinginan, daya yang dibutuhkan cenderung naik. Sampai pada menit ke 75 kenaikan daya sudah semakin melambat dan cenderung mencapai nilai konstan. Daya rata-rata yang dibutuhkan kompresor untuk R-134a adalah 92,2 W sedangkan untuk MC134 adalah 75,3 W. Jadi dengan menggunakan refrigeran MC134 penggunaan daya listrik lebih hemat 18,8%. Hasil dari penelitian ini sangat sejalan dengan hasil-hasil penelitian dari berbagai sumber.



Gambar 6. Variasi daya dan waktu pendinginan

4.3 Variasi konsumsi energi dan waktu pendinginan

Dari Gambar 7 di bawah terlihat bahwa kurva konsumsi energi dan waktu pendinginan identik dengan kurva daya listrik dengan waktu pendinginan (Gambar 6). Hal ini disebabkan karena untuk menghitung konsumsi energi tergantung pada daya listrik dan lama waktu pengujian. Jadi konsumsi energi rata-rata dengan menggunakan refrigeran R-134a adalah 83 kJ sedangkan dengan menggunakan refrigeran MC134 adalah 67,8 kJ.



Gambar 7. Variasi konsumsi energi dan waktu pendinginan

4. Kesimpulan

Refrigeran hidrokarbon sangat tepat dimanfaatkan sebagai refrigeran pengganti untuk refrigerant sintetis seperti HFC dan HCFC karena memiliki kinerja yang lebih baik dan tidak berdampak pada pemanasan global. Refrigeran MC134 yang diisikan ke dalam sistem memiliki massa yang lebih rendah dibandingkan dengan R134a yaitu 23,3% lebih kecil sehingga kerja kompresor lebih rendah. COP refrigeran MC134 adalah 3,1 sedangkan R134a adalah 2,7. Konsumsi energi refrigeran MC134 lebih rendah dari R134a yaitu 28%, sehingga refrigeran MC134 sangat tepat digunakan sebagai pengganti refrigerant dari R134a.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan dan dukungan dari teman-teman peneliti, serta unit publikasi P3M Politeknik Negeri Bali yang telah membantu penyelesaian dan publikasi paper ini.

Daftar Pustaka

- [1] Baharudin, "Perbandingan Performansi Pada Mesin Showcase Buah Menggunakan Fluida Kerja R134a dan MC134", Jurnal Petra, 5(2), 2018
- [2] B C Purnomo, M. Setiyo, B. Waluyo, Saifudin, N. Widodo, "Characteristics of Vapor Compression Refrigeration System with Parallel Expansion Valves using Refrigerant Musicoool134", The 2nd International Conference on Engineering and Applied Technology/IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 674, 2019, 012006.
- [3] B. C Purnomo, M. Setiyo, "Karakteristik Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Dengan Refrigeran Campuran Musicoool 134 - CO₂", . Jurnal Teknologi, UNMUH, 2017.
- [4] D.V.R. Reddy, B. Panitapu, "Hydrocarbon Refrigerant Mixtures as an Alternative to R134a in Domestic Refrigeration System", The State-of-the-Art Review, 2016, <https://www.researchgate.net/publication/302435899>.
- [5] Hendri, Prayudi, R. Nurhasanah, "Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur Evaporasi Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Dengan Refrigeran R134a dan MC134", Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII), 2014.

- [6] H. Rusmaryadi, I. Badil, A. Mu'in, B. Kharisma, "Studi Perbandingan Kinerja Freezer 1/5 PK Dengan R134a dan Musicool (MC-134)", *Turbulen: Jurnal teknik Mesin*, 2(2), 2019, 68-74.
- [7] J. H. Koh, Z. Zakaria, D. Veerasamy, "Hydrocarbon as Refrigerants – A Review", *Asian Journal on Science and Technology for Development*, 2017.
- [8] J. Koh, Z. Zakaria, D. Veerasamy, "Overview of the Use of Hydrocarbon Refrigerant in Air Conditioning Systems", *Chemical Engineering Transactions. A Publication of AIDIC*, 2017.
- [9] M.S. Emani, B.K. Mandal, "The Use of Natural Refrigerant in Refrigeration and Air Conditioning Systems: A Review", *International Conference on Mechanical, Materials and Renewable Energy, IOP Conf. Series: Material Science and Engineering*, 377, 2018, 0102064.
- [10] S.C. Parashurama, A. Saleel, M.S. Govindgowda, A. Khan, "Hydrocarbons as Alternative Refrigerants in Domestic Refrigerators", *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 8, 2019.
- [11] P. Saksono, Gunawan, "Penggunaan Refrigeran Hidrokarbon Sebagai Refrigeran Alternatif yang Ramah Lingkungan dan Hemat Energi", *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*, Malang, 2019.
- [12] P. Suparman, V. Antono, R. Nurhasanah, "Effect Degree of Temperature Subcooling in The Performance of Refrigeration with CFC, HFC, and Hydrocarbon Refrigerant", *Matec Web Conferences*, 101, 2017, 03002.
- [13] R.V. Gerwen, A. Gerrard, F. Roberti, "Ice Cream Cabinets Using a Hydrocarbon Refrigerant: From Technology Concept to Global Rollout", *8th HR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids*. Copenhagen, 2008.
- [14] T. Hidayat, Msi, "Potensi Perolehan Penghematan Energi Listrik Pada Kulkas Dengan Konversi Dari R-134a ke Hidrokarbon MC-134 Untuk Dialokasikan di Rumah Tipe Sederhana", 2019, <https://musicool.promo.com/article/18>
- [15] W.P. Marsis, A. Haris, "Pemilihan Fluida Pendingin Pada Mesin Pendingin Ikan (Freezer) Kapasitas 1 Ton", *Sintek*, 6(1), (2012), 1-10.