

STUDI EKSPERIMEN KINERJA SISTEM REFRIGERASI SETENGAH SIKLUS PADA KENDARAAN BERBAHAN BAKAR LPG

Prima Nofan Ryastama ¹⁾ ✉, Damar Setyo Prakasa ¹⁾, Muhammad Latifur Rochman ¹⁾, Muji Setiyo ¹⁾

¹⁾ Department of Automotive Engineering
Universitas Muhammadiyah Magelang
primanofan@gmail.com
alvizulfa13@gmail.com
latifur@unimma.ac.id
setiyo.muji@ummgl.ac.id

Abstract

The Air Conditioning (AC) system is an important requirement for vehicle passengers to get thermal comfort. However, the AC system draws power from the engine to drive the compressor. Meanwhile, vehicles driven by Liquefied Petroleum Gas (LPG) provide decent cooling potential to assist the main air conditioning system. Therefore, this study aims to examine the effect of cooling on LPG-fueled vehicles by utilizing LPG flow to be used as a secondary refrigerant. The research was carried out on a 1495 cc engine with a special evaporator which was tested at variations of blower speed 1, 2, and 3. The tests were carried out at engine speeds of 1000, 2000, and 3000 rpm. The results showed the lowest cooling effect at blower speed level 1 with engine speed of 1000 rpm and the highest at blower speed level 3 with engine speed of 3000 rpm. The greatest cooling effect is obtained at 373 Watts at 3000 rpm engine speed and level 3 blower speed.

Keywords: Cooling Effect, Liquefied Petroleum Gas, Half-Cycle Refrigeration.

1. PENDAHULUAN

Sistem *Air Conditioner* (AC) merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengatur atau mengkondisikan kualitas udara yang meliputi sirkulasi udara, mengatur kelembaban udara dan kebersihan udara. Sistem AC sudah menjadi kebutuhan penting bagi pengguna kendaraan, dan menjadi aksesoris kendaraan utama baik mobil angkutan umum maupun mobil pribadi. Salah satu fungsinya yaitu untuk mengurangi kelembaban pada kaca depan ^[1]. Fungsi lainnya yaitu untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembaban di kabin yang berpengaruh pada keselamatan penumpang. Beberapa gangguan kesehatan juga dilaporkan akibat sistem AC yang tidak bekerja dengan normal ^[2]. Oleh karena itu, pengembangan sistem AC terus dilakukan dengan mempertimbangkan konsumsi energi, fungsi dan manfaat yang paling efektif dan efisien.

Baru baru ini, diperkenalkan sebuah penelitian tentang penggunaan sistem AC menggunakan *Liquified Petoleum Gas* (LPG) sebagai pengganti *refrigerant* sekaligus sebagai bahan bakar kendaraan. Penelitian ini memanfaatkan temperatur yang rendah pada *vaporizer* untuk mendinginkan kabin dengan air sebagai media penghantarnya dan diperoleh kapasitas pendinginan sebesar 124,5 *watt* ^[3]. Selanjutnya, pada tahun 2020 sebuah penelitian menggunakan mini air *cooler* juga telah dilakukan. Penelitian ini dilakukan pada Nissan

Corresponding Author:
✉ Prima Nofan Ryastama
Received on: 2022-02-21
Revised on: 2022-06-05
Accepted on: 2022-10-26

Grand Livina yang terparkir dibawah terik matahari langsung. Temperatur kabin tertinggi mencapai $56,1^{\circ}\text{C}$, penggunaan mini air cooler mampu menurunkan temperatur kabin dengan rata rata 6°C [4]. Sementara itu, pada tahun 2021 sebuah studi tentang pengujian efek pendinginan dan indeks panas/*heat index* (HI) menggunakan *blower* bawaan kendaraan untuk mendinginkan kabin mobil juga telah dilakukan. Penelitian ini dilakukan juga pada Nissan Grand Livina yang terparkir dibawah terik matahari langsung. Proses pendinginan ini memanfaatkan tenaga surya sebagai sumberdaya *blower*. Sistem ini mampu menurunkan temperatur kabin hingga $9,8^{\circ}\text{C}$ [5].

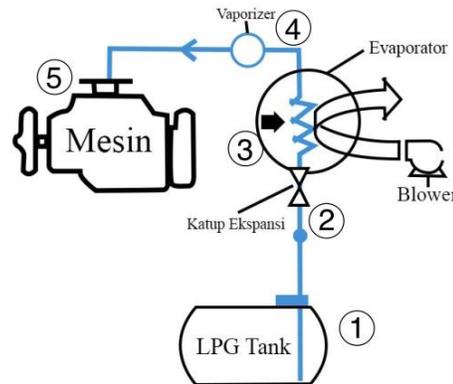
Pada tahun 2017, J. Gill dan J. Singh melakukan sebuah penelitian tentang perbandingan penggunaan campuran R134a dan LPG dengan R134a murni sebagai media pendingin. Hasilnya campuran penggunaan R134a dan LPG memiliki performa lebih baik dibandingkan R134a murni [6]. Selanjutnya pada tahun 2020 sebuah studi tentang kendaraan berbahan bakar LPG yang juga dimanfaatkan sebagai pendingin. Hasilnya, sistem ini memiliki efek pendingin yang signifikan. Namun, temuan riset ini cukup unik, dimana semakin tinggi laju aliran massa LPG, semakin rendah efektivitas perpindahan panas. Pada laju aliran massa LPG yang lebih tinggi, perpindahan panas kurang optimal, karena penguapan LPG yang tidak sempurna di *evaporator* [7].

LPG merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan untuk menggantikan ketergantungan bahan bakar minyak [8]-[10]. LPG juga dapat dimanfaatkan sebagai peralihan menuju kendaraan listrik. Namun, penggunaan LPG sebagai bahan bakar masih menjadi perdebatan karena menimbulkan efek rumah kaca [11]. Kendaraan dengan bahan bakar bensin, dapat diubah menjadi menjadi bahan bakar LPG dengan menambahkan konverter kit [12]. Konverter kit merupakan suatu peralatan yang memiliki fungsi seperti karburator, yaitu untuk mengabutkan LPG dan mencampurkannya dengan udara agar dapat terbakar secara maksimal. Seiring dengan perkembangannya, konverter kit juga disesuaikan dari generasi pertama hingga generasi keenam [9]. Selain itu, LPG juga merupakan salah satu alternatif bahan bakar yang bersih yang murah [13], lebih ramah lingkungan [14] dan dapat dikombinasikan dengan bahan bakar lain.

Selain sebagai bahan bakar yang lebih bersih, LPG memiliki potensi pendinginan dari perubahan fase pada *vaporizer* [15]. Beberapa peneliti melaporkan penggunaan LPG untuk lemari es melalui berbagai modifikasi untuk meningkatkan kinerja keseluruhan tetapi laporan tentang sistem refrigerasi setengah siklus masih terbatas, seperti oleh Boopathi [16] pada lemari es domestik. Secara teoritis, ada potensi pendinginan hingga 430 kJ/kg dari proses perubahan fase LPG pada saluran bahan bakar tetapi belum dimanfaatkan secara optimal [17]. Sebuah penelitian sebelumnya, penelitian pembuktian konsep sistem refrigerasi setengah siklus pada skala laboratorium juga telah dilakukan [18]. Hasilnya, sistem pendingin setengah siklus mampu menghasilkan daya pendinginan $1,2\text{ kW}$ pada laju aliran massa LPG 3 g/s dan dapat dipanen tanpa kerja kompresor. Namun, prototipe yang dikembangkan tidak dapat diterapkan pada kendaraan karena keterbatasan pada perangkat kontrol tekanan dan laju aliran. Daya pendinginan dapat diukur tetapi tidak dapat mewakili konsumsi LPG nyata pada kapasitas dan beban mesin tertentu. Kemudian, hasil riset tersebut diperbaiki pada periode selanjutnya yang mewakili kinerja pada kondisi yang sebenarnya [3], [19].

Pada penelitian kami kali ini, dilakukan untuk menguji efek pendinginan pada kendaraan berbahan bakar LPG dengan memanfaatkan penurunan temperatur setelah katup ekspansi, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1. Pengujian dilakukan dengan mengalirkan LPG dari tangki ke katup ekspansi sehingga tekanan dan temperatur menurun. Proses ini menyebabkan fase LPG berubah dari cair menjadi gas. Selanjutnya, LPG dialirkan ke *evaporator* untuk diserap panasnya, kemudian dikeluarkan melalui *vaporizer*, dan dialirkan ke mesin sebagai bahan bakar. Secara detail, LPG dialirkan dari (1) tabung gas LPG \rightarrow (2)

katup ekspansi (sehingga LPG dari cair menjadi gas sehingga temperatur menjadi dingin) → kemudian menuju (3) *evaporator* → (4) *vaporizer* → menuju ke (5) mesin.

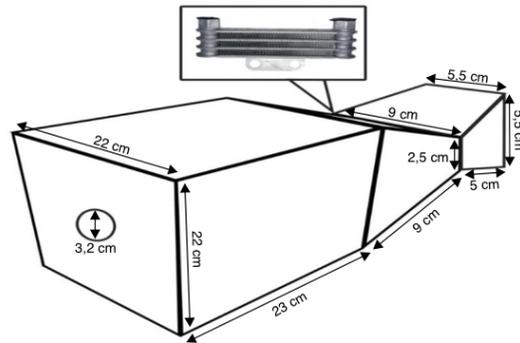


Gambar 1. Konsep pendinginan dari evaporasi LPG di *vaporizer*

2. METODE PENELITIAN

2.1. *Set-up* penelitian

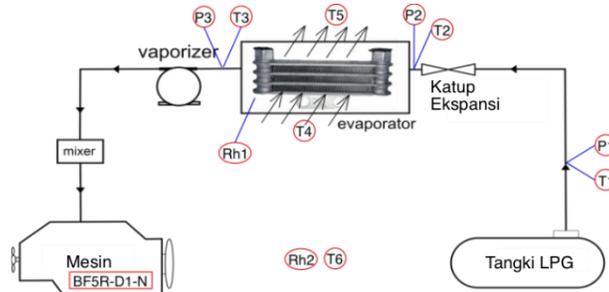
Penelitian ini dilakukan pada Daihatsu 1495 cc dengan torsi maksimal 134 Nm dan daya maksimal 96 HP. Kendaraan uji telah dimodifikasi dengan menggunakan LPG sebagai bahan bakar. Selama pengujian, tabung gas LPG diletakkan diatas timbangan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar selama pengujian dan terletak diluar kendaraan untuk menghindari pengaruh getaran mesin selama proses pengambilan data. Katup ekspansi yang digunakan dibuat secara khusus agar tekanan bahan bakar yang masuk ke *evaporator* dapat disesuaikan. *Evaporator* yang digunakan juga dibuat secara khusus yang disesuaikan dengan memperhatikan penelitian sebelumnya ^{[5], [18]}, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain *Evaporator*

Selanjutnya, Gambar 3 menunjukkan aliran LPG dan lokasi sensor tekanan (P), temperatur (T), dan kelembaban (RH). Bahan bakar dari tabung LPG dialirkan ke *evaporator* melalui katup ekspansi untuk diturunkan tekanannya, kemudian dialirkan ke *vaporizer* dan *mixer*. *Mixer* berfungsi untuk mencampurkan udara dengan bahan bakar pada *intake manifold* untuk disuplai ke ruang bakar. Tekanan dan temperatur LPG dari tabung ke katup ekspansi diukur sebagai P1 dan T1. Selain itu, tekanan dan temperatur LPG dari katip ekspansi ke *evaporator* juga diukur dengan P2 dan T2. Selanjutnya, tekanan dan temperatur dari *evaporator* ke *vaporizer* di ukur sebagai P3 dan T3. Kemudian temperatur udara yang masuk dan keluar *evaporator* diukur sebagai T4 dan T5. Temperatur udara lingkungan di ukur sebagai T6. Kelembaban *evaporator* dan lingkungan di ukur dengan RH1 dan RH2. Kecepatan mesin

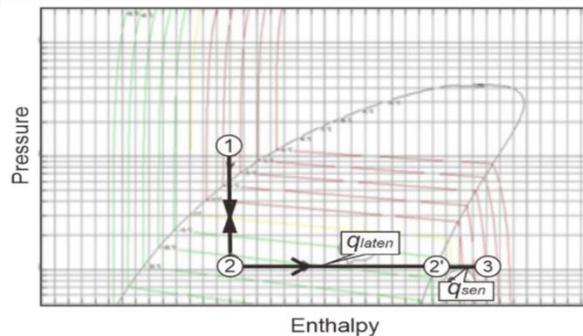
diukur menggunakan *fiber sensor* BF5R- D1-N terhubung ke MP5W *pulse* meter. Seluruh tekanan diukur menggunakan sensor PSAN-V01CA-RC1/8, temperatur diukur menggunakan temperatur sensor PT-100 3 *wire* yang dihubungkan dengan TM4-N2RB. Semua tersensor terhubung ke DAQ-Master sebagai data logger. Kendaraan diuji pada ruangan tertutup pada kecepatan 1000, 2000 dan 3000 dengan kecepatan *blower level* 1, 2, dan 3 selama masing-masing 30 menit. *Extra fan* dengan kecepatan 10 m/s ditambahkan dengan jarak kurang lebih 2m di depan kendaraan untuk membantu mendinginkan mesin. Pengujian dilakukan dari jam 10 smpai 11.30 (data di ukur per menit). konsumsi LPG diukur menggunakan timbangan. Untuk menghindari pengaruh panas mesin pada *vaporizer*, *vaporizer* dilapisi dengan isolator dan ditambahkan air yang bersirkulasi.



Gambar 3. Skema aliran bahan bakar

2.2. Perhitungan daya pendingin

Secara teoritis, panas yang dilepaskan oleh aliran udara melintasi sirip-sirip evaporator adalah sama dengan kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan LPG di dalam tabung *evaporator*. Oleh karena itu, keseimbangan energi adalah digunakan untuk menghitung efek pendinginan pada *evaporator*. Gambar 4 menunjukkan P-h diagram dari masing-masing perubahan *fase*. *Specific state point* 1, 2, 2', dan 3 pada Gambar 4 ditentukan sebagai (1) fase cair, (2) fase campuran, (2') fase uap jenuh, dan (3) fase uap super panas. Penurunan tekanan dalam ekspansi katup (1→2) diasumsikan *isenthalpic*; jadi, $h_1 = h_2$. LPG menguap di *evaporator* (2→2') dan membutuhkan panas laten, dengan entalpi penguapan $h_2'-h_2$. Selanjutnya terjadi pertukaran panas melalui perpindahan panas sensibel (2'→3), menghasilkan uap *superheated* dengan entalpi h_3-h_2' . Hal ini disebabkan oleh aliran udara yang terus menerus melintasi sirip *evaporator*, dengan suhu lebih tinggi dari suhu uap LPG. Energi yang dibutuhkan untuk sepenuhnya mengubah fase LPG pada *specific state point* 1-3 adalah h_3-h_1 .



Gambar 4. P-h diagram perubahan *fase*.

Berdasarkan laju aliran massa LPG dan udara yang diketahui, maka efek pendinginan dihitung dengan menggunakan Persamaan (1).

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \tag{1}$$

Dimana:

\dot{m} : laju aliran massa udara

C_p : Kalor Spesifik Udara

ΔT : Perbedaan temperatur masuk (T4) dan keluar *evaporator* (T5)

Laju aliran massa udara (\dot{m}) diperoleh dari:

$$\dot{m} = A_{udara} \cdot \rho \cdot V_{udara} \tag{2}$$

Dimana:

A_{udara} : luas penampang udara (m²)

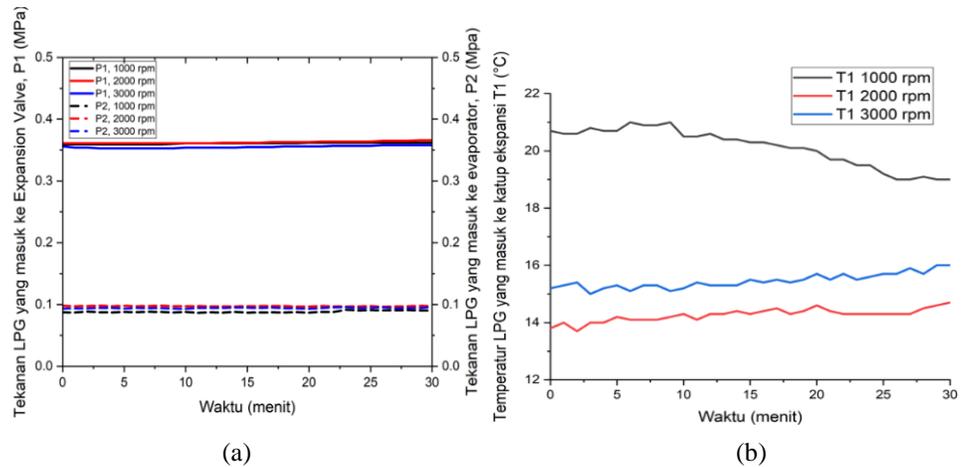
ρ : densitas udara (kg/m³)

V_{udara} : Kecepatan udara (m/s)

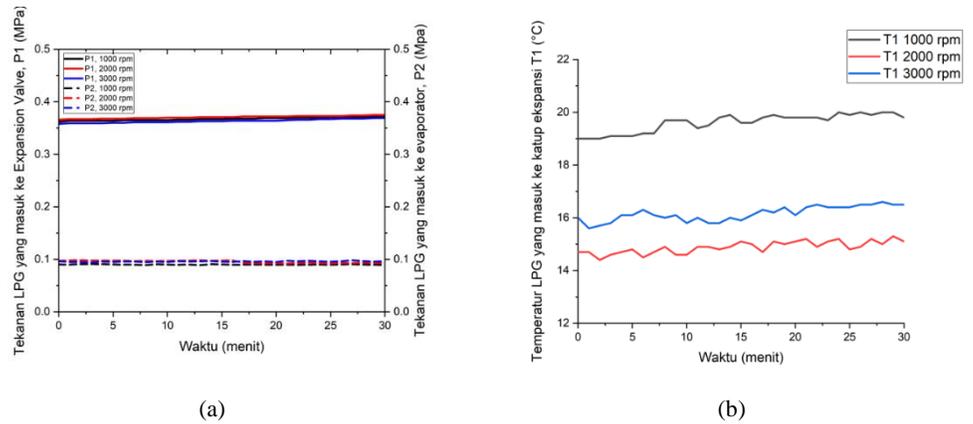
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengamatan terhadap tekanan dan temperatur LPG di katup ekspansi

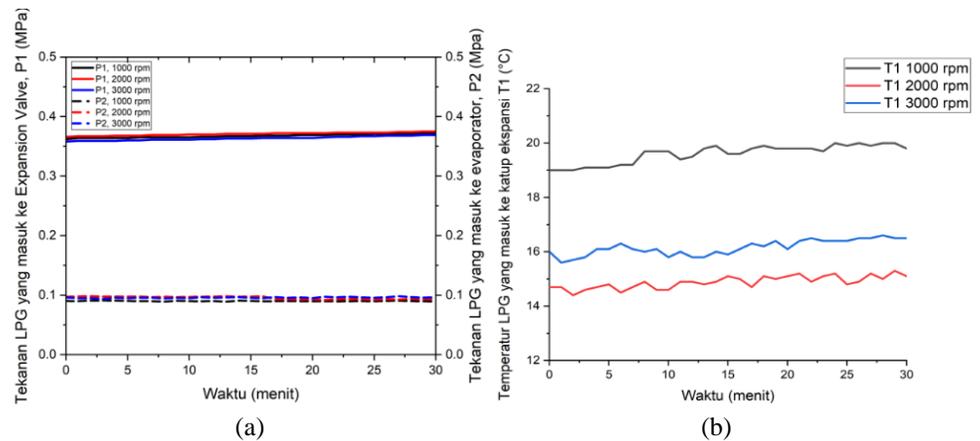
Gambar 5-7 menunjukkan profil tekanan LPG masuk dan keluar katup ekspansi. Garis *solid* warna hitam, merah dan biru mewakili tekanan LPG masuk katup ekspansi pada putaran mesin 1000, 2000, dan 3000 rpm. Sementara itu, garis putus-putus warna hitam, merah dan biru mewakili tekanan LPG keluar katup ekspansi/masuk *evaporator* pada putaran mesin 1000, 2000, dan 3000 rpm. Temperatur sebelum katup ekspansi (T1) sebesar 13,7 - 21 °C pada semua rpm dan kecepatan *blower*. Sementara itu, tekanan sebelum katup ekspansi (P1) sebesar 0,35 - 0,38 MPa yang mengindikasikan bahwa *fase* LPG sebelum katup ekspansi berupa cairan untuk semua kecepatan mesin dan kecepatan *blower*, hal ini memenuhi persyaratan LPG untuk digunakan sebagai pendingin. Tekanan LPG setelah katup ekspansi (P2) konstan pada + 0,1 MPa untuk semua kecepatan mesin dan kecepatan *blower*, yang menunjukkan terjadinya proses ekspansi. Dengan memperhatikan P-h diagram, LPG masuk ke katup ekspansi dalam keadaan cair dengan *enthalpy* spesifik di titik 1, hal yang sama terjadi pada saat LPG masuk *evaporator* pada fasa campuran dengan *enthalpy* spesifik di titik 2 ($h_1=h_2$).



Gambar 5. Pengamatan pada kecepatan *blower* level 1: (a) Tekanan LPG masuk *expansion valve* (P1) dan Tekanan LPG masuk *evaporator* (P2); (b) temperatur LPG masuk *expansion valve* (T1)



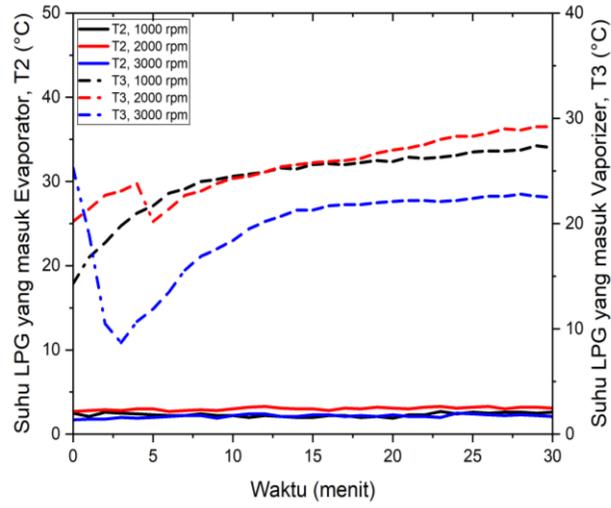
Gambar 6. Pengamatan pada kecepatan blower level 2: (a) Tekanan LPG masuk expansion valve (P1) dan Tekanan LPG masuk evaporator (P2); (b) temperatur LPG masuk expansion valve (T1)



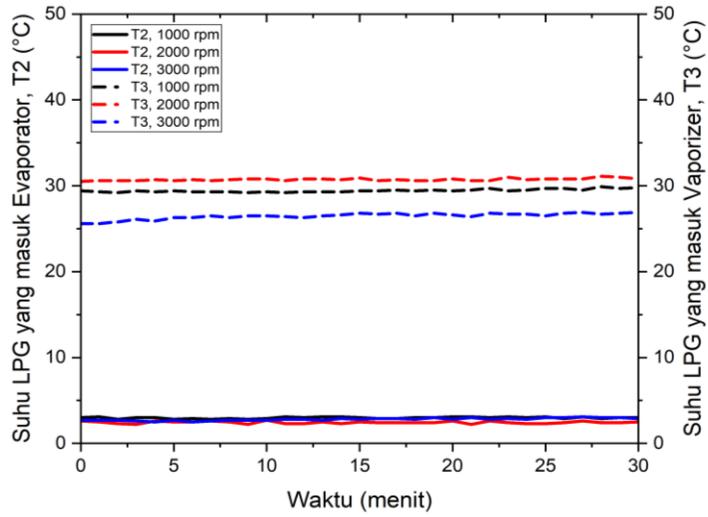
Gambar 7. Pengamatan pada kecepatan blower level 3: (a) Tekanan LPG masuk expansion valve (P1) dan Tekanan LPG masuk evaporator (P2); (b) temperatur LPG masuk expansion valve (T1)

3.2. Pengamatan terhadap temperatur LPG di evaporator

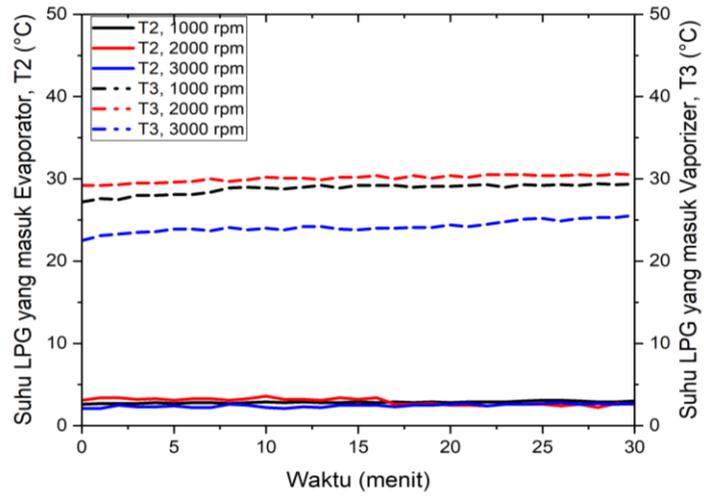
Gambar 8-10 menunjukkan profil temperatur LPG di evaporator pada kecepatan 1, 2 dan 3. Garis *solid* warna hitam, merah dan biru mewakili temperatur LPG masuk evaporator pada putaran mesin 1000, 2000, dan 3000 rpm. Sementara itu, garis putus-putus warna hitam, merah dan biru mewakili temperatur LPG masuk vaporizer pada putaran mesin 1000, 2000, dan 3000 rpm. Setelah melalui expansion valve, tekanan menjadi turun diikuti dengan menurunnya temperatur. Temperatur masuk evaporator pada putaran mesin 1000, 2000, dan 3000 rpm diperoleh sebesar 1,9 - 3,1°C; 2,2 - 3,6 °C; 1,7 - 3,1 °C, sedangkan temperatur keluar evaporator sebesar 14.3-29,9 °C; 20,2 - 31,1 °C, dan 8,7 - 26,9 °C yang mengindikasikan terjadinya fase *superheated*. Selain itu, perbedaan temperatur LPG masuk dan keluar evaporator mencapai 11,8 - 27 °C pada 1000 rpm, 17,2 - 28,7 °C pada 2000 rpm, dan 6,7 - 24 °C pada 3000 rpm.



Gambar 8. Pengamatan temperatur LPG di *evaporator* pada kecepatan *blower level 1*



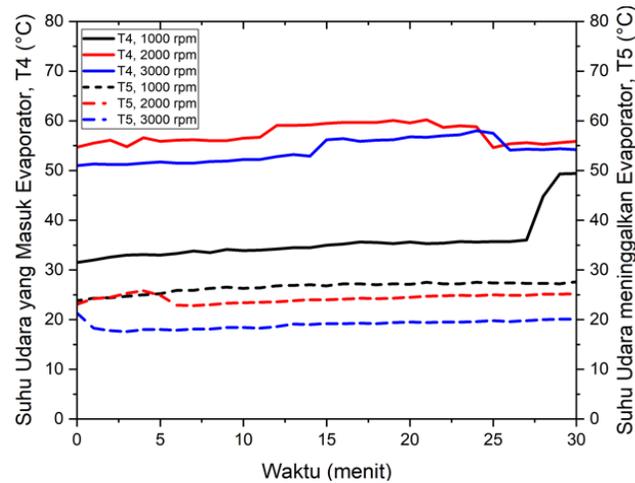
Gambar 9. Pengamatan temperatur LPG di *evaporator* pada kecepatan *blower level 2*



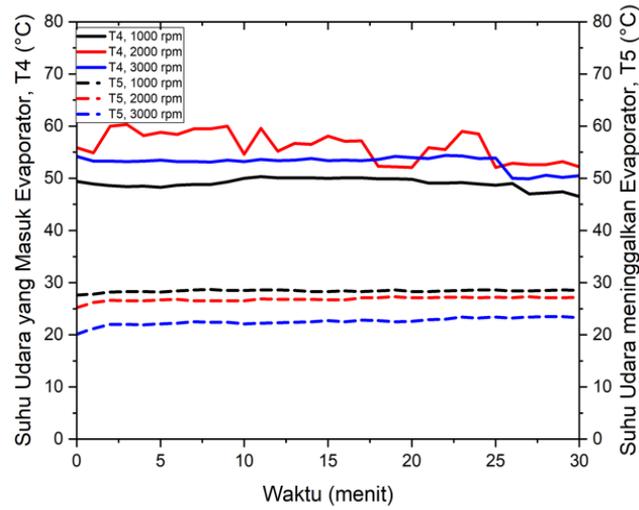
Gambar 10. Pengamatan temperatur LPG di *evaporator* pada kecepatan *blower level 3*

3.3. Pengamatan temperatur udara di *Evaporator*

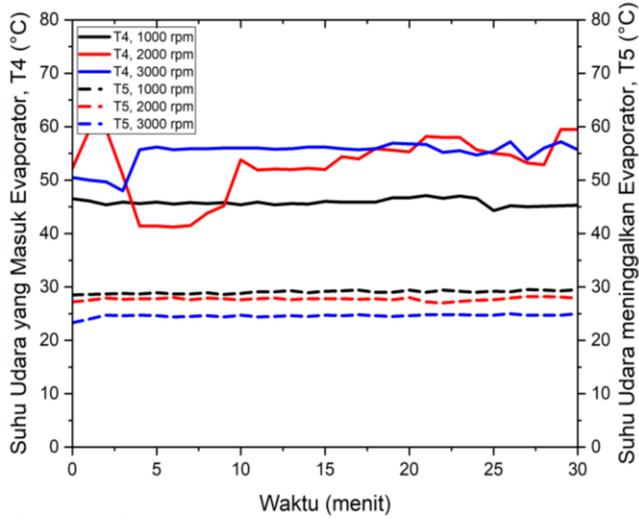
Gambar 11-13 menunjukkan profil temperatur udara di *evaporator* pada kecepatan 1, 2 dan 3. Garis *solid* warna hitam, merah dan biru mewakili temperatur udara masuk *evaporator* pada putaran mesin 1000, 2000, dan 3000 rpm. Sementara itu garis putus-putus warna hitam, merah dan biru mewakili temperatur udara keluar *evaporator* pada putaran mesin 1000, 2000, dan 3000 rpm. Rata-rata temperatur udara masuk *evaporator* sebesar 50,9 °C, sedangkan rata rata temperatur udara keluar *evaporator* sebesar 25,4 °C pada semua kecepatan *blower* dan mesin. Temperatur drop tertinggi diperoleh pada putaran mesin 3000 rpm dengan kecepatan *blower level 1* sebesar 38,4 °C.



Gambar 11. Pengamatan temperatur udara di *evaporator* kecepatan *blower level 1*



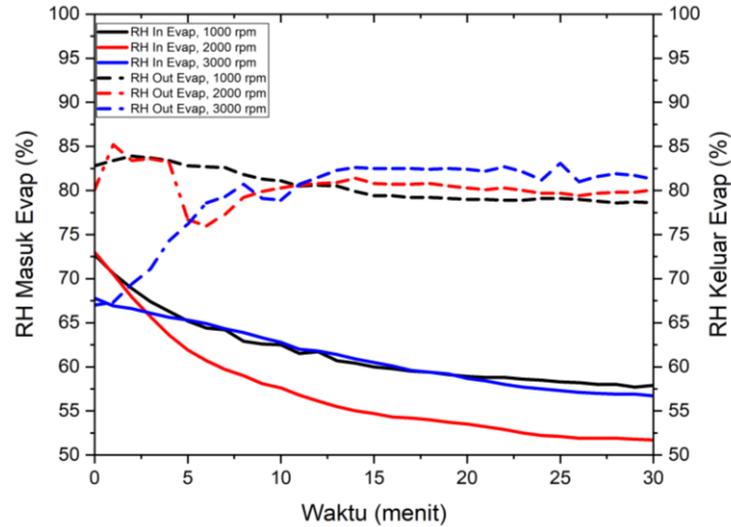
Gambar 12. Pengamatan temperatur udara di *evaporator* kecepatan *blower level 2*



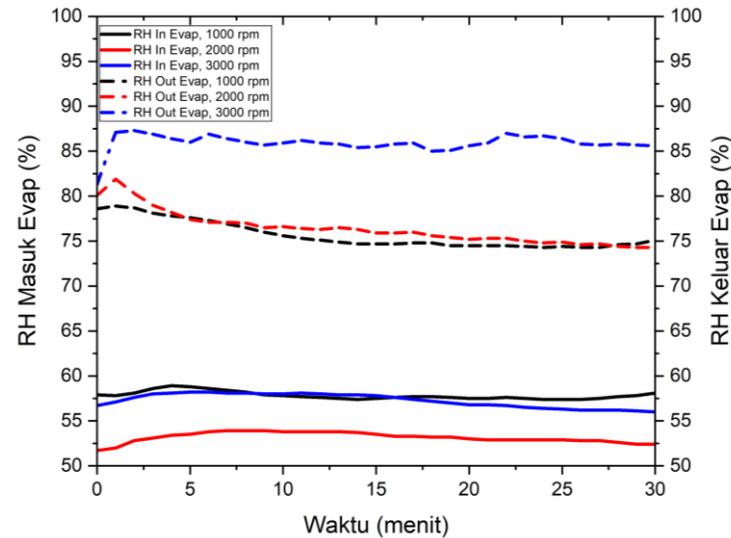
Gambar 13. Pengamatan temperatur udara di *evaporator* kecepatan *blower level 3*

3.4. Pengamatan kelembaban udara di evaporator

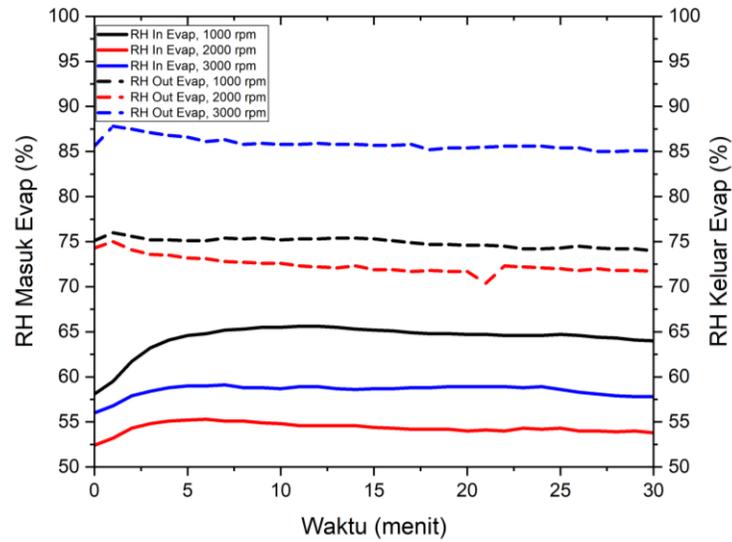
Gambar 14-16 menunjukkan profil kelembaban udara di *Evaporator* pada kecepatan 1, 2 dan 3. Garis *solid* warna hitam, merah, dan biru mewakili kelembaban udara masuk *evaporator* pada putaran mesin 1000, 2000, dan 3000 rpm. Sementara itu garis putus-putus warna hitam, merah, dan biru mewakili kelembaban udara keluar *evaporator* pada putaran mesin 1000, 2000, dan 3000 rpm. Rata-rata kelembaban udara masuk *evaporator* sebesar 58,4%, sedangkan rata rata kelembaban udara keluar *evaporator* sebesar 79,0% pada semua kecepatan *blower* dan mesin. Selisih kelembaban udara terbesar diperoleh pada putaran mesin 3000 rpm dengan kecepatan *blower level 2* sebesar 33,6%.



Gambar 14. Pengamatan kelembaban udara di *evaporator* kecepatan *blower level 1*



Gambar 15. Pengamatan kelembaban udara di *evaporator* kecepatan *blower level 2*



Gambar 16. Pengamatan kelembaban udara di *evaporator* kecepatan *blower level 3*

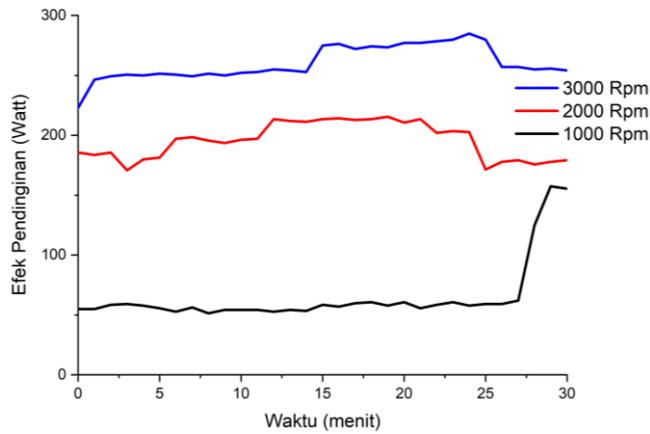
3.5. Efek Pendinginan

Efek pendinginan diukur pada aliran udara yang melintasi *evaporator*. Kami melakukan pengukuran terhadap udara dengan area lubang *evaporator* (A) dan diperoleh 0,00080384 m², dan kecepatan udara pada 3 kecepatan *blower* masing-masing pada 7 m/s, 9 m/s, dan 12 m/s. Densitas udara ditetapkan pada 1,2 kg/m³. Efek pendinginan dihitung menggunakan persamaan $q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$, sebagaimana disajikan pada Persamaan (1). Selanjutnya, rata-rata perbedaan temperatur di *evaporator* (T4 dan T5) ditunjukkan pada Tabel 1. Selama penelitian, data diperoleh dari DAQ *Master*, data mentah (csv) kemudian diolah menggunakan *Ms. Excel*. Ketika hasil dari pengolahan telah diperoleh, grafik hasil penelitian diproses menggunakan *OriginLab*.

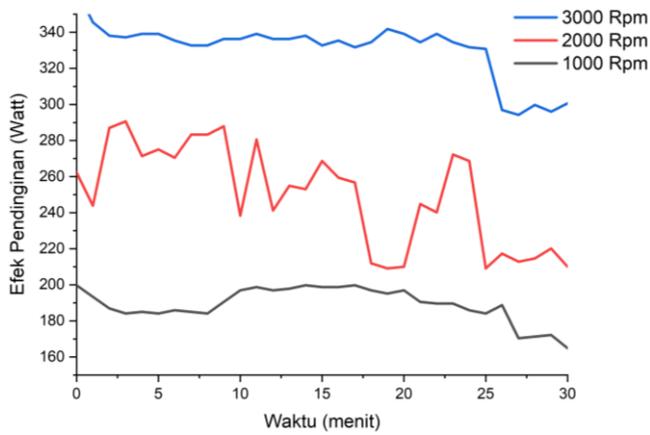
Tabel 1. Rata-rata perbedaan temperatur

Pengujian	Perbedaan temperatur T4 dan T5		
	1000 rpm	2000 rpm	3000 rpm
<i>Blower</i> kecepatan 1	9,18	33	34,93
<i>Blower</i> kecepatan 2	20,64	29,36	30,51
<i>Blower</i> kecepatan 3	16,78	24,86	30,52
Rata-rata	15,53	29,07	31,98

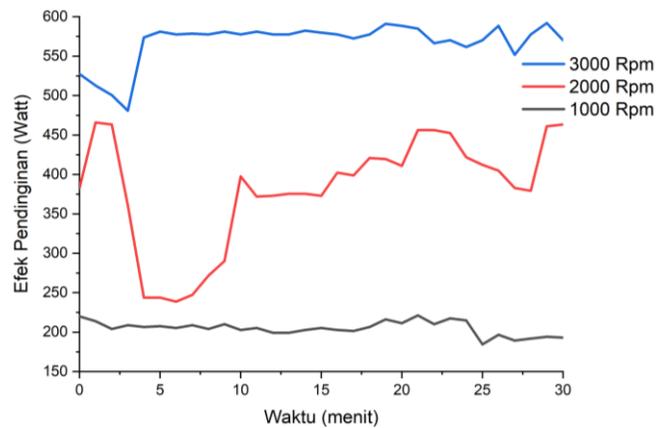
Gambar 17 menunjukkan grafik efek pendinginan pada kecepatan *blower level 1*. Pada kecepatan 1000 rpm, grafik efek pendinginan cenderung stabil pada 51-61 *Watt* pada 27 menit pertama. Namun pada 3 menit berikutnya, grafik efek pendinginan mengalami peningkatan yang signifikan hingga 157 *Watt*. Pada 2000 rpm, *cooling effect* diperoleh mencapai 255 *Watt* dan pada 3000 rpm mencapai 273,6 *Watt*. Gambar 18 menunjukkan grafik efek pendinginan pada kecepatan *blower level 2*. Pada kecepatan 1000 rpm, besar efek pendinginan diperoleh antara 165-200 *Watt*, sedangkan pada 2000 rpm sebesar 228-310 *Watt* dan pada 3000 rpm sebesar 243-294 *Watt*. Gambar 18 menunjukkan grafik efek pendinginan pada kecepatan *blower level 3*. Pada kecepatan 1000 rpm, besar efek pendinginan diperoleh antara 184-221 *Watt*, sedangkan pada 2000 rpm sebesar 161-388 *Watt* dan pada 3000 rpm sebesar 286-397 *Watt*.



Gambar 17. Efek pendinginan pada *blower* kecepatan 1



Gambar 18. Efek pendinginan pada *blower* kecepatan 2



Gambar 19. Efek pendinginan pada *blower* kecepatan 3

Rata-rata efek pendinginan selama pengujian pada kecepatan *blower* 1, 2, dan 3 ditunjukkan pada Tabel 2. Efek pendinginan paling efektif terjadi pada kecepatan mesin 3000 rpm dengan kecepatan *blower level* 3 dengan rata-rata 372,83 Watt. Hal ini dipengaruhi karena ketika semakin tinggi kecepatan mesin, temperatur pada *evaporator* semakin menurun. Ditambah dengan kecepatan *blower* semakin tinggi sehingga temperatur yang rendah pada *evaporator* didorong keluar dan mampu memberikan pendinginan yang lebih maksimal.

Tabel 2. Rata-rata efek pendinginan

Pengujian	Efek pendinginan (Watt)		
	1000 rpm	2000 rpm	3000 rpm
Blower kecepatan 1	65,41502	235,1355	248,9264
Blower kecepatan 2	189,1329	268,9824	279,5325
Blower kecepatan 3	204,9727	303,7159	372,8282
Rata-rata	153,1735	269,2779	300,429

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada kendaraan 1495 cc menggunakan bahan bakar LPG dan memanfaatkan LPG sebagai pendingin, diperoleh efek pendinginan aktual yang dapat dipertimbangkan sebagai sistem AC sekunder. Dalam studi kami kali ini, *evaporator* dibuat secara khusus untuk tujuan optimasi. Pengujian efek pendinginan dilakukan pada kecepatan blower level 1, 2, dan 3 dap pada kecepatan mesin 1000, 2000, dan 3000 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efek pendinginan paling rendah diperoleh pada kecepatan *blower level* 1 dengan putaran mesin 1000 rpm (65,42 Watt) dan paling tinggi pada kecepatan blower level 3 dengan putaran mesin 3000 rpm (372,82 Watt). Untuk dapat dimanfaatkan sebagai sistem AC sekunder, perlu riset lanjutan untuk mengintegrasikan sistem ini pada kabin kendaraan. Sistem integrasi dapat dilakukan dengan sistem seri, parallel, maupun *cascade*.

REFERENSI

- [1] C.-L. WENG and L.-J. KAU, "Design and implementation of a low-energy-consumption air-conditioning control system for smart vehicle," *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2019, 2019.
- [2] K. HO, R. MINHAS, E. YOUNG, M. SGRO, and J. F. HUBER, "Paediatric hyperthermia-related deaths while entrapped and unattended inside vehicles: The Canadian experience and anticipatory guidance for prevention.," *Paediatrics & child health*, vol. 25, no. 3, pp. 143–148, Apr. 2020, doi: 10.1093/pch/pxz087.
- [3] M. SETIYO et al., "Cooling power characteristics of half-cycle refrigeration system in LPG fuelled vehicles by auxiliary chiller as heat exchanger," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 27, p. 101145, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.101145>.
- [4] M. SETIYO, B. WALUYO, N. WIDODO, M. L. ROCHMAN, and I. B. RAHARJA, "Performance of mini air cooler on parked car under direct sunlight," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1517, p. 12002.
- [5] M. Setiyo, B. Waluyo, N. Widodo, M. L. Rochman, S. Munahar, and S. D. FATMARYANTI, "Cooling effect and heat index (HI) assessment on car cabin cooler powered by solar panel in parked car," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 28, no. August, p. 101386, 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101386.
- [6] J. GILL and J. SINGH, "Component-wise exergy and energy analysis of vapor compression refrigeration system using mixture of R134a and LPG as refrigerant," *Heat and Mass Transfer*, vol. 54, no. 5, pp. 1367–1380, 2018.
- [7] M. SETIYO, B. WALUYO, and N. HAMIDI, "Analysis of Evaporator Effectiveness on 1/2 Cycle Refrigeration Systems: A Case Study on LPG Fueled Vehicles," *Jurnal Teknologi*, vol. 82, no. 3, pp. 53–59, 2020, doi: 10.11113/jt.v82.13386.

- [8] T. KIVEVELE, T. RAJA, V. PIROUZFAR, B. WALUYO, and M. SETIYO, "LPG-Fueled Vehicles: An Overview of Technology and Market Trend," *Automotive Experiences*, vol. 3, no. 1, pp. 6–19, 2020, doi: 10.31603/ae.v3i1.3334.
- [9] M. SETIYO and B. WALUYO, "Evolusi Sistem Bahan Bakar LPG: Tinjauan Literatur," *Rekayasa Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 199–207, 2019, doi: 10.21776/ub.jrm.2019.010.02.12.
- [10] L. M. OLALEKAN, O. OLATUNDE, F. I. OLUFEMI, and A. A. OLAMIDE, "Mathematical modeling and cost comparison for electricity generation from petrol and liquified petroleum gas (LPG)," *Mechanical Engineering for Society and Industry*, vol. 2, no. 2, pp. 56–62, 2022, doi: 10.31603/mesi.6697.
- [11] M. J. KIM et al., "Life cycle assessment of LPG and diesel vehicles in Korea," *Korean Journal of Chemical Engineering*, vol. 38, no. 5, pp. 938–944, 2021.
- [12] N. DORA and T. J. S. JOTHI, "Emission Studies in CI Engine using LPG and Palm Kernel Methyl Ester as Fuels and Di-ethyl Ether as an Additive," *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, vol. 100, no. 4, pp. 627–634, 2019, doi: 10.1007/s40032-018-0465-3.
- [13] M. MANOHAR, P. K. SAHU, P. SAHU, D. SINGH, and A. CHANDRA, "Design Analysis and Performance of Low Cost Refrigeration System using LPG," *International Journal of Engineering Science and Computing*, vol. 10, no. 5, pp. 25633–25636, 2020.
- [14] B. BABY, D. BABY, and M. SUFAID, "Design of LPG used refrigeration system using Nozzle expansion," *International Research Journal on Advanced Science Hub*, vol. 2, no. 4, pp. 46–53, 2020.
- [15] P. PRICE, S. GUO, and M. HIRSCHMANN, "Performance of an evaporator for a LPG powered vehicle," *Applied Thermal Engineering*, vol. 24, no. 8–9, pp. 1179–1194, 2004, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2003.11.028.
- [16] S. BOOPATHI, "Experimental investigation and parameter analysis of LPG refrigeration system using Taguchi method," *SN Applied Sciences*, vol. 1, no. 8, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1007/s42452-019-0925-2.
- [17] 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, pp. 1766–1779, 2017.
- [18] M. SETIYO, S. SOEPARMAN, N. HAMIDI, and S. WAHYUDI, "Cooling effect characteristics of a ½ cycle refrigeration system on an LPG fuel system," *International Journal of Refrigeration*, vol. 82, pp. 227–237, 2017, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2017.06.009.
- [19] B. WALUYO et al., "Cooling effect characteristic of the novel half-cycle refrigeration system on a liquefied petroleum gas (LPG) fueled vehicle," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 34, p. 101405, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2022.101405>.