

Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan *Photovoltaics* (PV) dan *Thermoelectric* (TEC)

Rifky^{*}, Yogi Sirodz Gaos^{**})

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

Jl Tanah Merdeka no.6 Rambutan Ciracas Jakarta Timur DKI Jakarta 13830

E-mail: rifky@uhamka.ac.id

ABSTRAK

Sistem fotovoltaik mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung, sedangkan pendingin termoelektrik memerlukan energi listrik untuk menghasilkan perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin. Penelitian ini mengkombinasikan kedua sistem tersebut yang digunakan untuk pendingin kabin city car. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan penyerapan kalor pada kabin city car sehingga didapatkan temperatur 25 °C. Penelitian dilakukan dengan membuat model kabin city car dalam bentuk ruang pendingin. Sel surya diletakkan ke hadapan cahaya matahari sepanjang hari. Energi listrik sebagai luaran sel surya memasok termoelektrik, sehingga berlangsung perubahan energi termal pada sisi-sisinya. Sisi panas akan melepaskan kalor ke lingkungan sementara sisi dingin akan menyerap kalor dari lingkungan sekitar. Untuk memperbesar luasan penyerapan kalor digunakan heatsink yang dilekatkan pada sisi dingin termoelektrik. Heatsink (lebih tepatnya coldsink) mendistribusikan efek pendinginan menyeluruh ke ruang di bawahnya. Hasil penelitian menunjukkan koefisien kinerja (CoP) ruang pendingin sebesar 1,259 dengan temperatur terendah yang dicapai adalah 23,40 °C.

Kata kunci: energi, radiasi, fotovoltaik, termoelektrik, pendingin.

ABSTRACT

Photovoltaic systems convert solar radiation energy directly into electrical energy, whereas thermoelectric coolers require electrical energy to produce temperature differences between the hot side and the cold side. This study combines the two systems used for cooling the city car cabin. The purpose of this study was to obtain heat absorption in the city car cabin so that a temperature of 25 °C was obtained. The study was conducted by making a city car cabin model in the form of a cooling room. Solar cells are placed in the presence of sunlight throughout the day. Electrical energy as the output of solar cells supplies thermoelectricity, so changes in thermal energy occur on its sides. The hot side will release heat into the environment while the cold side will absorb heat from the surrounding environment. To increase the area of heat absorption heatsinks are used which are attached to the cold side of the thermoelectric. Heatsinks (more precisely coldsink) distribute the overall cooling effect to the space below. The results showed the coefficient of performance (CoP) of the cooling room of 1.259 with the lowest temperature achieved was 23.40 °C.

Keywords: energy, radiation, photovoltaic, thermoelectric, cooling.

PENDAHULUAN

Salah satu penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) adalah memanfaatkan energi surya atau energi matahari. Energi matahari mudah didapat dan memiliki potensi besar untuk dikembangkan. Diperkirakan pada tahun 2050 konsumsi energi dunia sebesar 45% diperoleh dari matahari [1].

Melalui sistem fotovoltaik (PV) energi cahaya matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik. Sementara sistem termoelektrik (TE) dapat mengubah perbedaan temperatur menjadi perbedaan tegangan listrik atau sebaliknya. Hibridisasi kedua sistem dapat dimanfaatkan pada bangunan dan alat transportasi. Mobil sebagai alat

transportasi dapat memanfaatkan energi hasil konversi tersebut baik untuk seluruh kebutuhan sistem maupun sebagian, misalnya untuk sistem pendingin kabin. Selama ini sistem pendingin kabin hanya bekerja selama mesin hidup (mobil berjalan) dan ketika mobil berhenti terutama sedang parkir otomatis ruang kabin menjadi panas karena tidak berfungsinya sistem pendingin.

Ruang pendingin yang dibuat sebagai model kabin city car. Jenis mobil ini digunakan dengan pertimbangan ukuran kabin yang tidak terlalu luas, sehingga diharapkan temperatur yang ditargetkan tercapai dan proses pendinginan berlangsung cepat merata.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, Jl Tanah Merdeka no.6 Rambutan Ciracas Jakarta Timur. Penelitian dilakukan sejak tahun 2018 hingga tahun 2020.

Kata “fotovoltaik” terdiri dari dua kata yaitu “photo” dan “voltaic”. Foto yang berarti cahaya dan voltaic yang mengacu pada listrik adalah konversi langsung sinar matahari menjadi potensial listrik (photovoltage) yang dapat digunakan untuk menyediakan tenaga listrik [2] dan melalui perangkat semikonduktor yang disebut sel surya [3].

Untuk mendorong konversi foton menjadi elektron menggunakan efek fotolistrik pada sistem PV terdapat dua lapisan silikon yang membentuk sel PV sehingga dapat menghasilkan (1) elektron lepas, atau (2) lubang-lubang pada struktur molekul tempat elektron dapat berikatan kembali [4].

Kinerja sel surya dipengaruhi oleh parameter material sel surya tersebut [5] dan kondisi sekitar seperti temperatur [3], [6], [7], [8], intensitas cahaya, dan spektrum cahaya yang datang [4], [9].

Dalam penelitian ini, daya listrik masukan yang berasal dari intensitas cahaya matahari diukur dan dihitung besarnya menurut persamaan [10],[11]:

$$P_{in}=I_v \cdot A \quad (1)$$

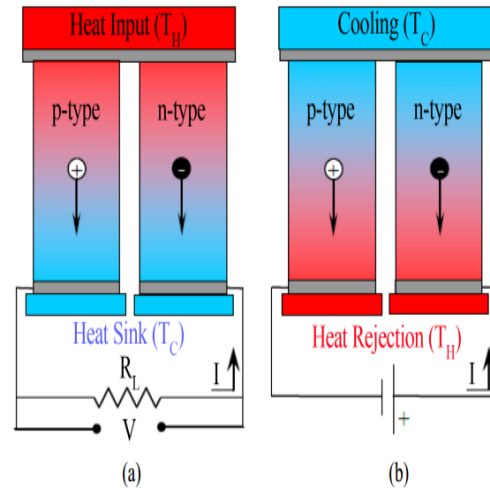
Sementara daya listrik keluaran diperoleh dari pengukuran tegangan dan arus listrik, yang dihitung dengan Persamaan[11],[12]:

$$P_{out}=V \cdot I \quad (2)$$

Secara harfiah termoelektrik terkait fenomena termal dan listrik. Termoelektrik secara langsung dapat mengubah energi termal menjadi energi listrik [10]. Sistem ini bermula pada fenomena material yang memiliki perilaku seperti halnya pada termokopel [13].

Dalam perangkat pembangkit listrik termoelektrik, aliran panas difusif dan efek Peltier adalah aditif. Keduanya mengurangi gradien temperatur yang dikenakan. Penurunan tegangan resistif perangkat juga mengurangi tegangan yang tersedia dari efek Seebeck [13]. Konverter daya termoelektrik tidak memiliki bagian yang bergerak, dan kompak, tenang, sangat andal dan ramah lingkungan [14]. Pada dasarnya termoelektrik terdiri dari dua perangkat, yaitu generator termoelektrik (TEG) dan pendingin termoelektrik (TEC) [10].

Perbedaan antara TEG dan TEC dapat ditampilkan pada gambar 1 di bawah ini [15].



Gambar 1 Pengaturan modul termoelektrik untuk (a) pembangkit listrik oleh efek Seebeck dan (b) pendinginan oleh efek Peltier [15]

Pada pendingin termoelektrik tenaga listrik yang dipasang dan masuk melintasi pasangan material termoelektrik memberikan besarnya tegangan [16]:

$$V = \alpha (T_h - T_c) + IR \quad (3)$$

Perbedaan temperatur yang maksimum terjadi ketika arus mencapai maksimum dan pada *cold junction* terjadi kehilangan panas hingga mencapai nol. Besarnya arus maksimum adalah [16]:

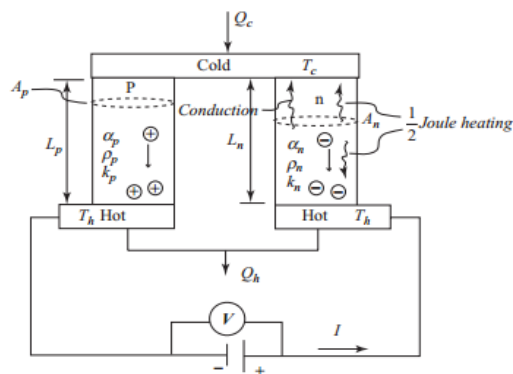
$$I_{max} = \frac{\alpha T_c}{R} \quad (4)$$

Arus yang maksimum diikuti tak adanya beban kalor menimbulkan tegangan yang maksimum, sebesar [16]:

$$V_{max} = \alpha (\Delta T_{max} + T_c) \quad (5)$$

Pendingin termoelektrik (*thermoelectric cooler*) adalah alat pendingin yang menggunakan elemen peltier dalam sistemnya sebagai pompa kalor. Efek peltier timbul apabila dua buah logam yang berbeda disambungkan dan kedua ujung logam tersebut dijaga pada temperatur yang berbeda [17].

Sistem pendingin termoelektrik dengan rangkaian listriknya digambarkan pada gambar 2 di bawah ini [10].



Gambar 2 Rangkaian listrik pendingin termoelektrik [10]

Prinsip kerjanya sistem pendingin termoelektrik, dimulai ketika arus DC dialirkan ke elemen Peltier yang terdiri dari beberapa pasang sel semikonduktor tipe p (semikonduktor yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah) dan tipe n (semikonduktor dengan tingkat energi yang lebih tinggi), akan mengakibatkan salah satu sisi elemen Peltier menjadi dingin (kalor diserap) dan sisi lainnya menjadi panas (kalor dilepaskan) [17].

Hal yang menyebabkan sisi dingin elemen peltier menjadi dingin adalah mengalirnya elektron dari tingkat energi yang lebih rendah pada semikonduktor tipe-p ke tingkat energi yang lebih tinggi yaitu semikonduktor tipe-n. Agar elektron tipe-p yang mempunyai tingkat energi lebih rendah dapat mengalir maka elektron menyerap kalor yang mengakibatkan sisi tersebut menjadi dingin, sedangkan pelepasan kalor ke lingkungan terjadi pada sambungan sisi panas, dimana elektron mengalir dari tingkat energi yang lebih tinggi (semikonduktor tipe-n) ke tingkat energi yang lebih rendah (semikonduktor tipe-p), untuk dapat mengalir ke semikonduktor tipe-p, kelebihan energi pada tipe-n dibuang ke lingkungan dan sisi tersebut menjadi panas [17].

Penyerapan kalor dari lingkungan terjadi pada sisi dingin yang kemudian akan dibuang pada sisi panas dari modul Peltier. Sehingga nilai kalor yang dilepaskan pada sisi panas sama dengan nilai kalor yang diserap ditambah dengan daya yang diberikan ke modul.

Elektron mengalir dari semikonduktor pada tipe-p yang kekurangan energi, menyerap kalor pada bagian yang didinginkan kemudian mengalir ke semikonduktor tipe-n. Semikonduktor tipe-n yang kelebihan energi membuang energi tersebut ke lingkungan dan mengalir ke semikonduktor tipe-p dan seterusnya [17].

Perpindahan kalor yang terjadi pada sistem pendingin ruang termoelektrik adalah mekanisme perpindahan kalor konduksi dan konveksi. Konduksi terjadi dari pelat aluminium sebagai

penyerap panas menuju sisi panas termoelektrik dan dari sisi dingin termoelektrik ke heatsink.

Perpindahan kalor konveksi terjadi dari sirip-sirip heatsink ke ruang pendingin. Konveksi yang terjadi adalah konveksi alamiah (bebas) yang hanya dipengaruhi oleh gaya apung pergerakan fluida karena perbedaan temperatur dan tidak ada gaya luar yang ikut terlibat.

Perpindahan kalor konduktif dari sirip [18]:

$$q_{\text{fin}} = \sqrt{hPkA_c} \tanh(\sqrt{hP/(kA_c)}L)(T_b - T_\infty) \quad (6)$$

Perpindahan kalor konveksi adalah perpindahan kalor yang terjadi pada zat alir (fluida) akibat pergerakan partikel fluida tersebut. Proses konveksi diiringi pergerakan massa partikel, sehingga pada konveksi ada transfer termal dan transfer massa.

Persamaan yang digunakan berasal dari Hukum Pendinginan Newton, yaitu [19]:

$$q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \quad (7)$$

Dalam sistem pendingin ruang (kabin), konveksi yang terjadi adalah konveksi alamiah (konveksi bebas). Pada konveksi jenis ini terjadi gerakan gaya apung yang disebabkan berkurangnya densitas fluida di dekat permukaan perpindahan kalo akibat proses pemanasan [19]. Pada perpindahan kalor koveksi terdapat tiga bilangan tak berdimensi, yaitu bilangan Prandtl (Pr), bilangan Nusselt (Nu), bilangan Grashof (Gr), dan bilangan Rayleigh (Ra). Untuk bilangan Nusselt dihitung dengan Persamaan [19]:

$$Nu_x = \frac{hx}{k} \quad (8)$$

Untuk analisis konveksi bebasnya adalah konveksi bebas dari pelat vertikal, baik untuk beban kalor transmisi antar dinding dalam ruang pendingin maupun beban kalor transmisi antara dinding dalam dengan lingkungan luar.

Pada konveksi bebas berlaku tiga persamaan berikut, yakni Persamaan (9), (10), dan (11) [19]:

$$Gr_x = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_w - T_\infty) \cdot x^3}{\nu^2} \quad (9)$$

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} \quad (10)$$

$$Ra = GrPr \quad (11)$$

Sementara untuk konveksi bebas pada pelat vertikal ditentukan dua persamaan berikut, yakni persamaan (12) dan (13) dengan penggunaannya ditentukan rentang nilai Ra [19]:

$$\overline{Nu} = 0,68 + \frac{0,670Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{1/4}\right]^{4/9}} \text{ untuk } Ra_L < 10^9 \quad (12)$$

$$\overline{Nu}^{\frac{1}{2}} = 0,825 + \frac{0,387Ra^{\frac{1}{8}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{1/4}\right]^{\frac{8}{27}}}$$

$$\text{untuk } 10^{-1} < Ra_L < 10^{12} \quad (13)$$

Kalor yang hilang dapat dihitung dengan persamaan perpindahan kalor pada dinding datar dengan persamaan berikut:

$$q = \frac{T_{lingkungan} - T_{ruang pendingin}}{\left(\frac{\Delta x}{k.A}\right)_{Aluminium} + \left(\frac{\Delta x}{k.A}\right)_{Styrofoam}} \quad (14)$$

Kinerja ruang pendingin dihitung dengan persamaan [11]:

$$CoP = \frac{q_c}{P_{in}} \quad (15)$$

Dimana:

q_c = beban kalor yang diserap ruang pendingin [W]

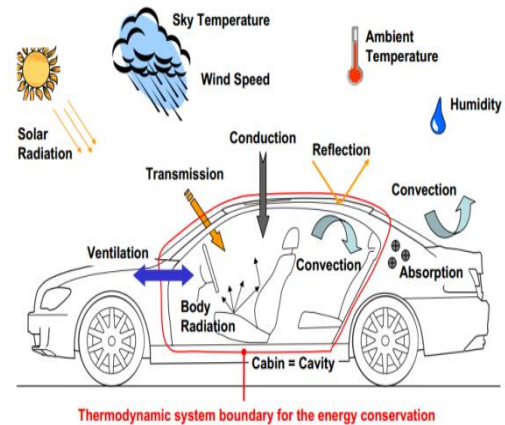
P_{in} = daya input (dari sel surya) yang membangkitkan TEC [W]

City car adalah mobil dengan spesifikasi: dimensi panjang tidak lebih 2,5 m, lebar 1,5 m, tinggi 1,6 m; tenaga motor 2 kW; berat maksimum 400 kg; kecepatan 50 km/jam – 70 km/jam; konsumsi bahan bakar 1 liter/25 jam; dan kapasitas 2 – 4 orang (2). *City car* memiliki kapasitas kabin 2,5 m³[20]. Temperatur kabinnya 25 °C dengan kelembaban relatif 60% [21].

Tidak seperti sistem *HVAC* (*Heating, Ventilation, and Air-Contioning*) pada bangunan, perkantoran, dan perumahan, sistem *HVAC* pada otomotif keempat sisinya terdapat kaca dengan sumber pemanasan dari mesin, dan hal ini menjadi sensitif terhadap beban termal yang disebabkan sedikit insulasi [22].

Sistem *HVAC* pada kabin mobil dipengaruhi faktor material, geometri, jumlah manusia di dalam mobil, kondisi cuaca (temperatur udara, temperatur permukaan dalam dan luar, kecepatan angin, kelembaban relatif, dan intensitas sinar matahari), dan perpindahan kalor yang terjadi (konveksi di dalam dan di luar, konduksi, dan radiasi) [23], [24], [25], [26].

Keseimbangan termal yang terjadi dalam kabin mobil dijelaskan dengan gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3 Keseimbangan termal dalam kabin mobil [24]

Perpindahan kalor dalam kabin mobil dipengaruhi beberapa mekanisme antara lain adalah [26]:

1. Tranmisi kalor melalui kaca mobil.
2. Konduksi melalui bodi mobil.
3. Konveksi udara dalam kabin mobil.
4. Radiasi yang dipancarkan interior mobil.
5. Ventilasi udara dalam mobil.

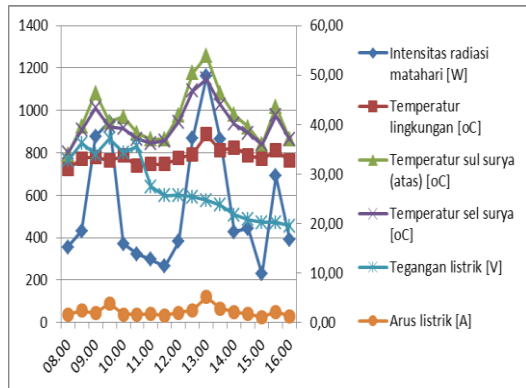
Masalah sistem PV dan sistem TE yang dipadukan untuk diteliti terdapat banyak variabel baik pada sistem itu sendiri maupun terkait kondisi lingkungan sekitarnya. Dalam penelitian hibridisasi PV-TE yang diterapkan sebagai model sistem pendingin kabin mobil ini dibatasi pada hal-hal berikut ini.

Model sistem terpisah antara sistem PV dan sistem TE (pendingin) yang dibuat dalam bentuk kotak pendingin dengan volume 0,43 m³ (menyesuaikan sisi atasnya dengan luas modul PV yang digunakan).

Sistem PV dan kotak pendingin dimiringkan 30° menghadap ke arah utara (posisi optimal mendapat sinar matahari untuk bagian bumi di Lintang Selatan).

HASIL DAN PEMBAHASAN

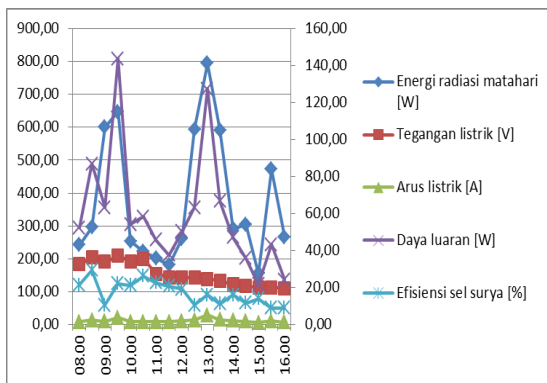
Pada sistem pendingin ini sel surya berfungsi sebagai penyedia energi listrik yang diperolehnya dari hasil konversi radiasi cahaya matahari. Masukan energi dan luaran energi pada sel surya serta temperatur yang mempengaruhinya diuraikan di bawah ini.



Gambar 4 Distribusi radiasi, temperatur, tegangan, dan arus listrik

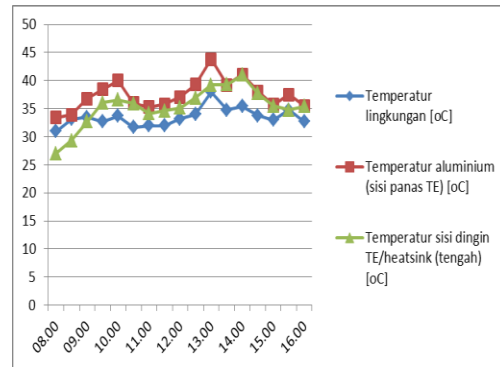
Intensitas radiasi matahari mengalami fluktuasi karena kondisi cuaca, dimana temperatur lingkungan mempengaruhi radiasi yang sampai di permukaan sel surya. Luaran dari sistem PV adalah arus listrik yang cenderung stabil dan tegangan listrik berfluktuasi seiring dengan perubahan intensitas radiasi dan temperatur sel surya. Temperatur lingkungan cukup tinggi, sehingga memberikan efek pemanasan pada sel surya. Tampak temperatur sel surya cukup tinggi baik sisi atas maupun sisi bawah. Kinerja sel surya akan dipengaruhi oleh temperatur sel. Temperatur sel meningkat, maka tegangan listrik cenderung menurun.

Hasil perolehan daya luaran dan efisiensi sel surya selama pengukuran ditampilkan pada grafik berikut.



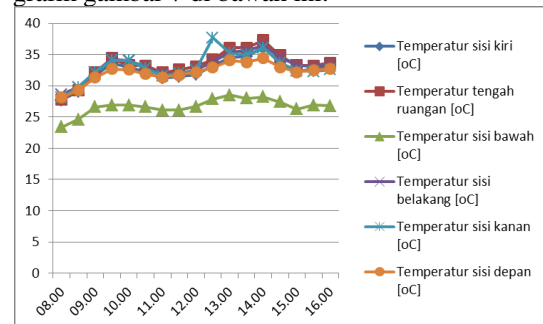
Gambar 5 Distribusi energi radiasi, tegangan, arus, daya, dan efisiensi

Dari grafik gambar 5 di atas tampak bahwa besarnya energi radiasi yang diterima sel surya menghasilkan daya luaran yang sesuai dan efisiensi yang cenderung konstan. Susunan sambungan antar modul termoelektrik dengan *heatsink* sebanyak 21 pasang memberikan data distribusi temperatur seperti yang diperlihatkan pada gambar 6 berikut di bawah ini.



Gambar 6 Distribusi temperatur pada sistem termoelektrik (paralel)

Pada gambar 6 di atas, grafik temperatur lingkungan, temperatur aluminium (sebagai sisi panas termoelektrik) dan temperatur *heatsink* (sebagai sisi dingin termoelektrik) menggambarkan pola yang cenderung sama. Tingginya temperatur aluminium akibat radiasi termal matahari yang diserapnya dapat mencapai di atas temperatur lingkungan. Sementara pasokan listrik yang masuk tidak membuat termoelektrik menghasilkan perbedaan temperatur yang besar, sehingga temperatur sisi dingin masih terlihat lebih tinggi dari temperatur lingkungan. Temperatur ruang pendingin yang dicapai disajikan dalam data yang diolah dalam bentuk grafik gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7 Distribusi temperatur ruang pendingin

Pada gambar 7 di atas, grafik temperatur sisi-sisi dinding dan temperatur tengah ruangan secara signifikan seragam. Akan tetapi, temperatur sisi bawah (alas) jauh lebih rendah. Alas pendingin berhadapan langsung dengan *heatsink* sebagai penyerap kalor dan tidak dilapisi styrofoam (tak penyerapan kalor oleh insulasi) serta tidak dipengaruhi pancaran panas matahari.

Perhitungan beban keseluruhan:

$$q = q_{transmisi} + q_{hilang} + q_{diserap\ heatsink}$$

$$q = 1,954782585 W + 0,499845824 W \\ + 0,046539068 W \\ q = 2,5011675 W$$

Perhitungan CoP sistem pendingin adalah:

$$CoP = \frac{q_c}{P_{in}} \\ CoP = \frac{2,5011675 W}{60,09 W} = 0,042$$

KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian, perhitungan, dan analisis serta pembahasan di atas, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut. Sel surya dalam penelitian ini mampu mengkonversi rata-rata energi radiasi matahari sebesar 375,03 W dengan kinerja daya keluaran sebesar 60,09 W dan efisiensi sebesar 16,03%. Ruang pendingin memiliki capaian terbesar CoP adalah 1,259, sedangkan temperatur ruang pendingin paling rendah sebesar 23,40°C. Dengan capaian temperatur terendah tersebut penelitian model ruang pendingin mobil jenis city car ini dapat dilakukan pada tempat dan kondisi sebenarnya. Sistem pendingin kabin ini tidak dipengaruhi tenaga listrik dari mesin, maka dapat berfungsi juga selama mobil berhenti atau sedang parkir

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. S. Gaos et al., "The performance of solar collector CPC (compound parabolic concentrator) type with three pipes covered by glass tubes," in *Renewable Energy Technology and Innovation for Sustainable Development*, 2017, pp. 020022–1–020022–9..
- [2] M. Ropp, "Photovoltaic Systems," in *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology*, B. L. Capehart, Ed. Boca Raton: CRC Press, 2007, pp. 1147–1159.
- [3] M. Asif and T. Muneer, "Solar Thermal Technologies," in *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology - 3 Volume Set (Print Version)*, B. L. Capehart, Ed. Boca Raton: CRC Press, 2010, pp. 1321–1330.
- [4] A. Montecucco, J. Siviter, and A. R. Knox, "The effect of temperature mismatch on thermoelectric generators electrically connected in series and parallel," *Appl. Energy*, vol. 123, pp. 47–54, 2014.
- [5] M. A. Contreras and S. Deb, "Solar energy overview," in *Fundamentals of Materials for Energy and Environmental Sustainability*, D. S. Ginley and D. Cahen, Eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2012, pp. 206–215.
- [6] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Fourth. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.
- [7] Q. Dong, T. Liao, Z. Yang, X. Chen, and J. Chen, "Performance characteristics and parametric choices of a solar thermophotovoltaic cell at the maximum efficiency," *Energy Convers. Manag.*, vol. 136, pp. 44–49, 2017.
- [8] S. Armstrong and W. G. Hurley, "A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 30, no. 11–12, pp. 1488–1495, 2010.
- [9] D. S. Ginley, R. Collins, and D. Cahen, "Direct solar energy conversion with photovoltaic devices," in *Fundamentals of Materials for Energy and Environmental Sustainability*, D. S. Ginley and D. Cahen, Eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2012, pp. 216–237.
- [10] H. Lee, *Heat Sinks, Thermoelectrics, Heat Pipes, Compact Heat Exchangers, and Solar Cells*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [11] A. V. da Rosa, *Fundamentals of Renewable Energy Processes*. Burlington: Elsevier Inc., 2005.
- [12] F. M. Vanek and L. D. Albright, *Energy Systems Engineering Evaluation & Implementation*. United States: McGraw Hill, 2008.
- [13] G. S. Nolas, J. Sharp, and H. J. Goldsmid, *Basic Principles and New Materials Developments*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.
- [14] C. Liu, P. Chen, and K. Li, "A 500 W low-temperature thermoelectric generator: Design and experimental study," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 28, pp. 15497–15505, 2014.
- [15] J. T. Jarman, E. E. Khalil, and E. Khalaf, "Energy Analyses of Thermoelectric Renewable Energy Sources," *Open J. Energy Effic.*, vol. 02, no. 04, pp. 143–153, 2013.
- [16] I. Nandhakumar, N. M. White, and S. Beeby, *Thermoelectric Materials and Devices*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2017.
- [17] F. T. UI, "Universitas Indonesia Penerapan Sistem Pendinginan Bertingkat Berbasis

- Termoelektrik Dan Heat Pipe Depok,” 2009.
- [18] F. L. Chua, B. Ohara, and B. Tong, “Quikchill: thermoelectric water cooler,” 2013.
- [19] J. P. Holman, Heat Transfer, 10th ed. New York: McGraw-Hill, 2010.
- [20] K. Gładyszewska-Fiedoruk, “Concentrations of carbon dioxide in the cabin of a small passenger car,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 16, no. 4, pp. 327–331, 2011.
- [21] V. C. Mei, F. C. Chen, B. Mathiprakasam, and P. Heenan, “Study of solar-assisted thermoelectric technology for automobile air conditioning,” *J. Sol. Energy Eng. Trans. ASME*, vol. 115, no. 4, pp. 200–205, 1993.
- [22] D.W. Lee, “Impact of a Three-Dimensional Air-Conditioning System on Thermal Comfort: An Experimental Study,” *Int. J. Automot. Technol.*, vol. 16, no. 3, p. 411–416, 2015.
- [23] J. Fiser, J. Pokorny, D. Podola, and M. Jicha, “Experimental Investigation of Car Cabin Environment During Real Traffic Conditions,” *Eng. Mech.*, vol. 20, no. 3, pp. 229–236, 2013.
- [24] J. Pokorny, J. Fiser, and M. Jicha, “Operational heat balance model with parameterized geometry for the prediction of car cabin heat loads,” *Int. J. Vent.*, vol. 11, no. 4, pp. 393–406, 2013.
- [25] S. Paulke and M. Ellinger, “Air Conditioning Cabin Simulation of Passengers,” no. November, pp. 29–30, 2007.
- [26] I. I. Hakim and A. Samgita, “Development of Car Cabin Cooler Based on Thermoelectric,” no. SNTTM XII, pp. 23–24, 2013.