

# Integrasi Panel Surya Dengan Modul Termoelektrik Sebagai Sistem Pendingin Ruangan Bertenaga Surya

Nazilul Muttaqin Nautica<sup>1)</sup>, Rifky<sup>1\*)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika,  
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA.  
Jl. Tanah Merdeka No.6, Rambutan, Ciracas, Jakarta Timur, DKI Jakarta 13830.  
\*Email: rifky@uhamka.ac.id

## Abstrak

Energi surya sebagai energi terbarukan dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga sistem pendingin ruangan. Sistem pendingin ruangan tersebut mendapat pasokan energi listrik hasil konversi energi radiasi cahaya matahari melalui panel surya. Kemudian sistem generator surya tersebut diintegrasikan dengan modul termoelektrik untuk memproduksi kondisi dingin dalam sistem pendingin. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mendapatkan sebanyak mungkin penyerapan kalor oleh pendingin termoelektrik dalam ruangan sistem pendingin, temperatur terendah yang dapat dicapai, dan koefisien kinerja sistem pendingin. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan model pendingin ruangan yang digunakan adalah kotak pendingin dengan volume  $0,25 \text{ m}^3$ . Sel surya sebagai sumber listrik dihadapkan ke arah utara untuk mendapatkan intensitas cahaya matahari lebih banyak dengan rentang waktu lebih panjang. Produk luaran sel surya yang berupa tenaga listrik dan energi listrik tersebut disuplai ke sistem pendingin termoelektrik yang dirangkai seri. Ketika termoelektrik diberikan daya listrik maka akan timbul perubahan temperatur di kedua sisinya. Sisi dingin akan menyerap kalor dari ruang pendingin, sedangkan sisi panas akan melepas kalor ke lingkungan. Penggunaan heatsink pada sisi dingin untuk mendapatkan penyerapan kalor yang lebih besar. Setelah dilakukan uji coba alat, pengambilan data dan pengolahan data didapat daya keluaran sel surya secara keseluruhan sebesar 413,23 W. Sementara termoelektrik mencapai temperatur terendah  $24,6^\circ\text{C}$ . Adapun beban kalor keseluruhan adalah 416,70 W dengan koefisien kinerja sistem pendingin sebesar 1,01.

**Kata kunci:** pendingin ruangan, sel surya, termoelektrik.

## 1 PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia mempunyai target bauran energi baru terbarukan 23% dan 31% masing-masing pada tahun 2025 dan 2050 [1]. Target tersebut juga didukung oleh lokasi geografis Indonesia yang terletak di kawasan garis katulistiwa yang mempunyai paparan sinar matahari sepanjang tahun [2]. Kondisi tersebut dapat dimanfaatkan karena radiasi sinar matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik secara langsung. Saat ini manusia menghasilkan listrik dengan mengubah energi termal menjadi energi mekanik terlebih dahulu kemudian dikonversi menjadi energi listrik, sedangkan energi surya langsung mengkonversi energi listrik melalui fenomena fotovoltaik [3], sehingga biaya untuk menghasilkan energi listrik dapat ditekan. Energi matahari ditaksir akan memenuhi 45% permintaan energi dunia pada tahun 2050 [4]. Permintaan energi tersebut digunakan untuk menghidupkan berbagai mesin dan peralatan elektronik seperti pendingin ruangan, telepon seluler, laptop. Indonesia yang merupakan negara beriklim tropis dimana hampir di seluruh bangunan seperti rumah, perkantoran, ruko, dan industri membutuhkan pendingin ruangan.

Saat ini pendingin ruangan mempunyai peran yang sangat penting dalam suatu bangunan [5]. Hampir diseluruh sisi bangunan biasanya dipasang alat pendingin, hal ini untuk menunjang aktivitas pada bangunan tersebut. Pengaplikasian pendingin tidak terbatas hanya pada ruangan, tetapi dapat digunakan untuk mendinginkan komoditas seperti budi daya hasil perikanan, pertanian, dan perkebunan. sebagian besar sistem pendingin memakai sistem pendingin konvensional yang mana pendingin konvensional menggunakan fluida refrigeran sebagai penyerap panas, sedangkan penggunaan refrigeran yang berkepanjangan akan berdampak buruk kepada lingkungan [6] seperti gas rumah kaca dan pemanasan global [7].

Fluida refrigeran yang biasa dipakai seperti R22, R32, R290, R410A, R125, R134A, R407C memiliki potensi pemanasan global dan kerusakan ozon yang sangat tinggi. Pada skala global refrigeran mempunyai potensi dampak buruk bagi kesehatan manusia [8] melalui siklus hidupnya [9]. Selain memiliki dampak pada lingkungan dan kesehatan manusia, dari fluida refrigeran juga memiliki dampak negatif pada sisi ekonomi.

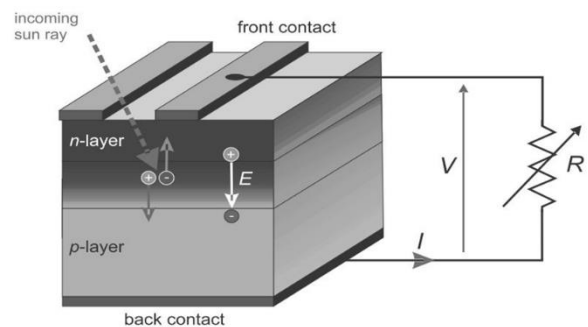
Ditinjau dari segi ekonomi, dampak yang ditimbulkan ketika menggunakan sistem pendingin konvensional adalah tagihan listrik yang membengkak karena konsumsi listriknya yang relatif tinggi [10]. Pada suatu bangunan 60% dari total energi dikonsumsi oleh pendingin ruangan [5]. Jika penggunaan pendingin konvensional terus meningkat tanpa ada teknologi pendingin yang baru dan konsumsi listriknya lebih rendah, maka akan terjadi peningkatan permintaan energi karena pada tahun 2040 kebutuhan pendingin ruangan akan tumbuh dari 10% menjadi 30% [5].

Berdasarkan masalah dan temuan tersebut, perlu upaya untuk meminimalisir penggunaan refrigeran dengan mengganti teknologi pendingin menggunakan pendingin termoelektrik. Termoelektrik adalah semikonduktor yang memanfaatkan efek Peltier untuk menghasilkan perbedaan temperatur pada kedua sisinya [11]. Pemanfaatan termoelektrik sebagai pendingin ruangan mempunyai beberapa alasan yaitu tidak menggunakan fluida refrigeran [6], tidak bergerak [11], ukuran relatif kecil [12], tidak mempunyai potensi gas rumah kaca [13], dan ramah terhadap lingkungan [14]. Sementara penggunaan rangkaian seri pada termoelektrik karena di beberapa penelitian menunjukkan temperatur yang lebih rendah dari rangkaian paralel [15]. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan penyerapan kalor pada ruang pendingin oleh termoelektrik dan sel surya sebagai pemasok energi listriknya. Berdasarkan penjelasan tersebut maka perlu adanya penelitian yang memfokuskan pada sistem pendingin yang tidak mempunyai efek buruk terhadap lingkungan serta listriknya disuplai oleh energi terbarukan.

Energi terbarukan adalah energi yang didapatkan dari sumber energi terbarukan, sedangkan sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dapat digunakan dalam waktu yang lama dan dapat dipulihkan dalam jangka waktu yang singkat [16]. Salah satu energi terbarukan yang berkembang pesat adalah energi surya. Energi surya berasal dari reaksi fusi nuklir inti matahari. Energi surya yang sampai ke bumi dalam dua bentuk yaitu panas dan cahaya. Waktu yang dibutuhkan cahaya matahari untuk sampai ke bumi adalah 8 menit 20 detik. Bumi menerima energi matahari sebesar  $2,164 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$  dari total energi yang matahari pancarkan sebesar  $6,316 \times 10^7 \text{ W/m}^2$  berdasarkan perhitungan hukum Planck [17]. Pada saat radiasi matahari memasuki atmosfer bumi, sebagian tersebar dan sebagian diserap. Radiasi yang mengenai partikel dan tersebar ke segala arah disebut sebagai radiasi difusi, sebagian radiasi lainnya kembali ke atmosfer dan sebagian lagi mencapai tanah [18]. Radiasi yang tiba di permukaan bumi langsung dari matahari disebut radiasi langsung

atau sorotan. Selain penyerapan radiasi tersebut, radiasi matahari masih dipencarkan oleh molekul, debu, gas [19]. Dalam pengembangannya radiasi matahari dapat dimanfaatkan dengan teknologi sel surya yang secara umum dibagi menjadi empat jenis yaitu fotovoltaik konvensional, konsentrasi fotovoltaik, dan teknologi termal surya serta teknologi energi surya-hidrogen [11].

Sel surya ialah perangkat yang dapat mengkonversi radiasi energi matahari menjadi energi listrik arus searah yang dinilai dalam satuan watt atau kilowatt. Konversi energi pada panel surya menggunakan fenomena fotovoltaik [2]. Fotovoltaik mempunyai dua suku kata yaitu “foto” dan “voltaik” yang masing-masing memiliki arti cahaya dan listrik [11]. Gambar 1 merupakan mekanisme kerja sel surya. Ketika modul sel surya terkena sinar matahari maka akan menghasilkan tegangan listrik. Hal ini karena sel surya adalah semikonduktor yang mempunyai dua jenis lapisan yaitu tipe p (positif) dan tipe n (negatif) [20]. Semikonduktor tipe p dikatakan positif karena mempunyai lubang (*hole*) yang banyak, sedangkan semikonduktor tipe n dikatakan negatif karena muatan negatifnya lebih banyak. Besar kecilnya listrik yang dihasilkan suatu modul sel surya tergantung intensitas cahaya, material sel surya, kondisi lingkungan seperti temperatur, serta jangkauan cahaya yang datang [21], [22].



**Gambar 1** Mekanisme kerja sel surya.

Energi listrik yang didapatkan dari radiasi energi matahari disebut sebagai daya masukan hasil dari perkalian intensitas matahari dengan luas permukaan panel surya, sedangkan listrik yang dihasilkan fotovoltaik disebut sebagai daya keluaran yang didapat dari pengukuran voltase dan ampere listrik [23]. Daya masukan dan daya keluaran masing-masing dapat diukur dan dihitung dengan persamaan berikut [11]:

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

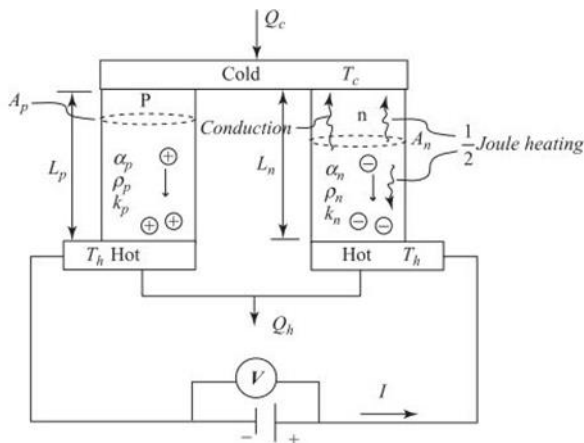
$$P_{out} = V \times I \quad (2)$$

Untuk menghitung efisiensi panel surya dengan membandingkan daya keluaran yang dihasilkan dengan daya masukan yang didapat. Persamaan yang dipakai sebagai berikut [24].

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

Termoelektrik pada dasarnya adalah fenomena termal dan listrik. Ketika termoelektrik diberi arus DC maka akan terjadi perbedaan temperatur yang salah satu sisinya akan dingin (kalor diserap) dan sisi satunya akan menjadi panas (kalor dilepas) maupun sebaliknya [25]. Penyebab salah satu sisi termoelektrik menjadi dingin karena berpindahnya elektron dari tingkat energi yang lebih rendah (tipe p) pada sel semikonduktor ke tingkat energi yang lebih tinggi (tipe n).

Pada tingkat energi yang lebih tinggi (tipe n) terjadi perpindahan elektron ke tingkat energi yang lebih rendah (tipe p) akibat sisi panas termoelektrik melepaskan panas ke lingkungan [25]. Semakin besar kalor yang dilepaskan sisi panas ke lingkungan, maka kalor yang diserap sisi dingin semakin besar pula, sehingga proses pendinginan ruang disekitarnya (ruang kotak pendingin) menjadi lebih efektif menjadi dingin. Proses pelepasan kalor dan kalor penyerapan kalor dengan penjelasan perpindahan elektron pada p-n junction secara skema dideskripsikan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2 Perpindahan elektron pada termoelektrik.

Pada sistem pendingin ruang termoelektrik terjadi dua jenis perpindahan kalor yaitu perpindahan kalor konduksi dan konveksi [11]. Perpindahan kalor konduksi terjadi ketika partikel bervibrasi akibat interaksi antar partikel [26]. Perpindahan kalor konduksi pada fluida terjadi akibat interaksi antar molekul ketika molekul tersebut bergerak secara acak. Sedangkan perpindahan kalor pada benda padat

terjadi akibat getaran yang dilakukan oleh molekul serta pergerakan energi akibat elektron bebas. Proses perpindahan kalor konduksi terjadi tanpa diikuti oleh perpindahan molekul tersebut. Nilai minus merupakan teori hukum termodinamika yaitu energi yang lebih tinggi akan berpindah ke energi yang lebih rendah dalam skala suhu. Adapun persamaan yang dipakai untuk menghitung perpindahan kalor konduksi disebut hukum Fourier, persamaannya sebagai berikut [26]:

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4)$$

Sementara perpindahan kalor konveksi terjadi ketika ada perpindahan molekul antara benda padat dengan fluida yang sedang bergerak [26]. Perpindahan kalor konveksi merupakan gabungan dari perpindahan kalor konduksi dan gerakan fluida. Apabila kecepatan fluida semakin tinggi, maka laju perpindahan kalor konveksi juga tinggi. Perpindahan kalor konveksi meliputi perpindahan kalor dan massa. Adapun untuk mencari laju perpindahan kalor konveksi dengan menggunakan persamaan pendinginan Newton [27]:

$$q = hA (T_w - T_{\infty}) \quad (5)$$

Perpindahan kalor konduksi terjadi pada *heatsink* sisi dingin yang menyalurkan kalor melalui plat aluminium dan dibuang ke lingkungan oleh *heatsink* sisi panas hasil penyerapan kalor pada ruang pendingin. Sementara perpindahan kalor konveksi terjadi dari *heatsink* sisi dingin ke ruang pendingin. Pada suatu ruangan perpindahan kalor konveksi terjadi secara alami. Perpindahan kalor konveksi secara alami disebabkan oleh gaya apung suatu fluida akibat perbedaan temperatur antara permukaan dan fluida sehingga berkurangnya densitas fluida tersebut [26]. Selain perpindahan kalor, juga diikuti perpindahan massa partikel, sehingga terjadi transfer kalor dan massa. Analisis perpindahan kalor konveksi menggunakan analisis pelat vertikal, baik untuk kalor transmisi antar dinding di dalam ruang pendingin maupun kalor transmisi antara dinding bagian dalam dengan lingkungan [11], [21]. Pada perpindahan kalor konveksi dikenal adanya bilangan tak berdimensi yaitu Nusselt, Grashoff, Rayleigh, dan Prandtl [27]:

$$Nu_x = \frac{hx}{k} \quad (6)$$

$$Gr_x = \frac{g \cdot \beta (T_w - T_{\infty}) x^3}{\nu^2} \quad (7)$$

$$T_f = \frac{T_w + T_{\infty}}{2} \quad (8)$$

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (9)$$

Pada konveksi bebas pelat vertikal berlaku persamaan (8) dan (9) dimana rentang nilai Ra menentukan penggunaannya [27]:

$$\overline{Nu} = 0,68 + \frac{0,670 Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \text{ untuk } Ra_L < 10^9 \quad (10)$$

$$\overline{Nu}^{1/2} = 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \quad (11)$$

untuk  $10^{-1} < Ra_L < 10^{12}$

Adapun beban kalor transmisi tiap dinding dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [28]:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (12)$$

Selanjutnya kalor yang hilang akibat dari perpindahan kalor dari ruang pendingin ke lingkungan. Kalor yang hilang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$q = \frac{T_{lingkungan} - T_{ruang pendingin}}{\left(\frac{\Delta x}{k \cdot A}\right)_{Styrofoam} + \left(\frac{\Delta x}{k \cdot A}\right)_{Aluminium} + \left(\frac{\Delta x}{k \cdot A}\right)_{Styrofoam} + \left(\frac{\Delta x}{k \cdot A}\right)_{Triplek}} \quad (13)$$

Sementara kinerja sistem pendingin termoelektrik dihitung dengan persamaan berikut [11]:

$$CoP = \frac{qc}{P_{in}} \quad (14)$$

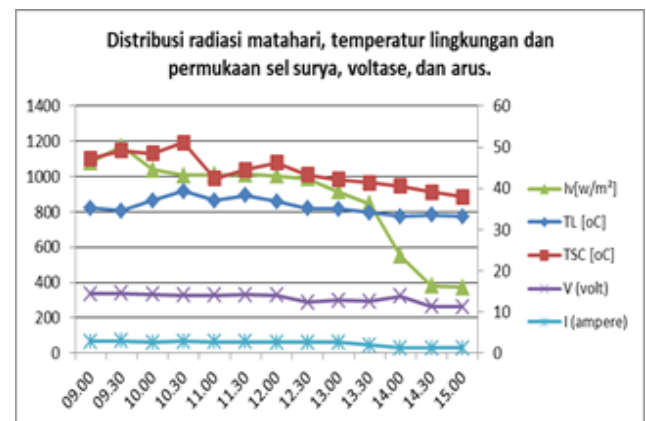
## 2 METODOLOGI PERANCANGAN

Ruang pendingin memiliki beberapa lapisan dinding. Susunan dinding depan, samping, belakang yaitu *styrofoam*, aluminium, *styrofoam*, dan triplek. Dinding bawah hanya memiliki tiga lapisan dinding yaitu *styrofoam*, aluminium, dan *styrofoam*. Sementara dinding atas yang juga merupakan sistem pendingin termoelektrik memiliki susunan *heatsink*, termoelektrik, aluminium, *heatsink*, dan *styrofoam*. Jenis termoelektrik yang digunakan adalah TEC 1-12706 yang mempunyai dimensi 40 mm x 40 mm x 3,8 mm dengan bahan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Jumlah termoelektrik yang digunakan sebanyak 3 modul dan dirangkai seri. Jenis sel surya yang digunakan adalah *polychristaline* 100 wp dengan ukuran 1020 mm x 670 mm. Sel surya dihadapkan 30° dari permukaan horizontal ke arah utara. Ruang pendingin yang digunakan memiliki volume 0,25 m<sup>3</sup>.

Pengukuran dilakukan selama enam jam dimulai dari pukul 09.00 WIB–15.00 WIB dengan pengambilan data dilakukan setiap 30 menit. Semua data seperti intensitas matahari, arus, tegangan, kecepatan angin, kelembaban udara, dan temperatur diukur sepanjang waktu penelitian. Energi matahari dikonversi menjadi energi listrik arus searah oleh sel surya yang kemudian disimpan di aki melalui *solar charge controller*. Pada saat yang bersamaan energi listrik juga dihubungkan ke sistem pendingin termoelektrik.

## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

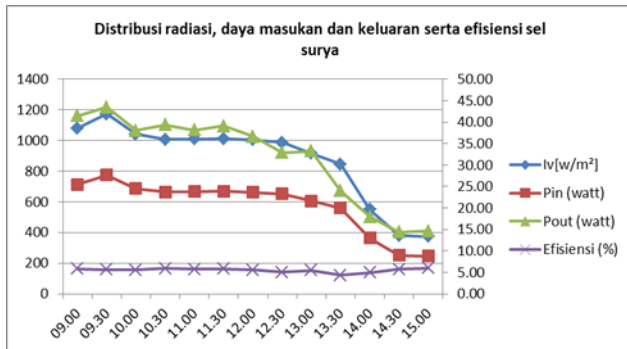
Pada sistem pendingin ruangan ini, sel surya digunakan sebagai konverter energi matahari menjadi energi listrik. Gambar 3 di bawah menjelaskan intensitas radiasi matahari yang diterima sel surya serta temperatur lingkungan dan permukaan sel surya yang mempengaruhi. Pada gambar 3 tampak arus dan tegangan yang dihasilkan sel surya semakin menurun ketika intensitas radiasi matahari juga menurun [29], [30], [31], akan tetapi penurunannya tidak signifikan. Penurunan intensitas radiasi matahari tersebut dipengaruhi oleh cuaca yang mendung dan gerimis [21]. Temperatur sel surya dan lingkungan cenderung menurun disebabkan oleh cuaca pada saat penelitian pukul 13.30 WIB mendung dan disertai gerimis.



Gambar 3 Distribusi radiasi matahari, temperatur, tegangan, dan arus.

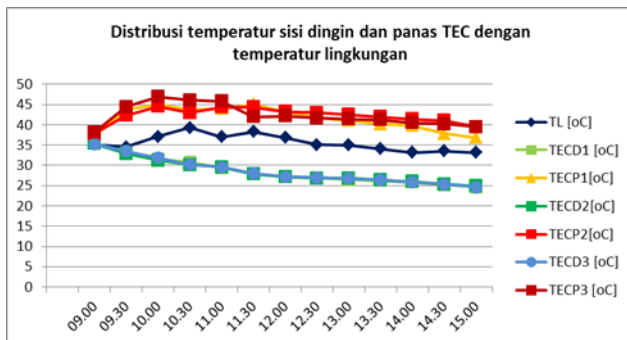
Pada gambar 4 disajikan kinerja dari sel surya yang dipengaruhi oleh radiasi matahari. Gambar 4 menunjukkan grafik distribusi radiasi matahari, daya masukan dan keluaran, serta efisiensi panel surya. Radiasi matahari, daya masukan, dan daya keluaran menggambarkan pola yang sama. Ketika radiasi matahari cenderung menurun, daya masukan dan daya keluaran juga menurun [30]. Sementara efisiensi panel surya mendapatkan hasil yang relatif konstan. Kinerja

sel surya dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu intensitas matahari [11], temperatur lingkungan dan temperatur permukaan panel surya [32].



**Gambar 4** Distribusi radiasi matahari, daya masukan, daya keluaran, dan efisiensi sel surya.

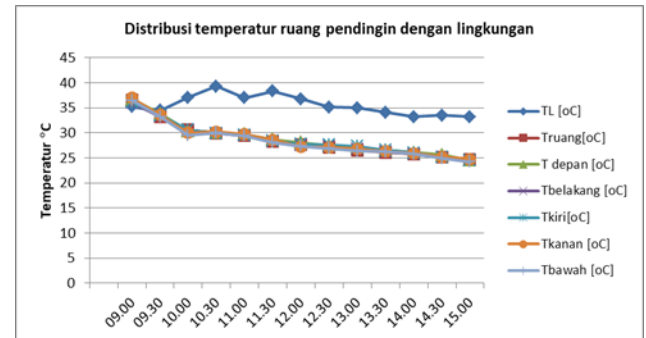
Sementara distribusi temperatur pada tiap pasangan termoelektrik dan *heatsink* dapat dilihat pada gambar 5. Pada gambar 5 tampak bahwa temperatur sisi panas termoelektrik meningkat signifikan seiring berjalannya waktu [6], akan tetapi pada pukul 11.30 WIB temperatur sisi panas cenderung menurun seiring menurunnya temperatur lingkungan [11]. Menurunnya temperatur lingkungan disebabkan oleh cuaca yang mendung dan gerimis pada pukul 13.30 WIB. Sementara sisi dingin termoelektrik menunjukkan penurunan temperatur dikarenakan penyerapan kalor pada ruang pendingin yang dindingnya dilapisi oleh isolator.



**Gambar 5** Distribusi temperatur termoelektrik dengan lingkungan.

Adapun distribusi temperatur pada tiap dinding ruang pendingin disajikan pada gambar 6. Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa temperatur ruang pendingin masing-masing menggambarkan pola yang sama. Adapun temperatur lingkungan menurun disebabkan oleh cuaca, akan tetapi tidak membuat penurunan temperatur ruang pendingin turun secara signifikan karena dipengaruhi oleh penyerapan kalor dinding ruang pendingin [21]. Sisi ruang pendingin dengan temperatur terendah dicapai oleh sisi bawah yakni 24,2°C. Kondisi tersebut terjadi karena sisi

bawah berhadapan langsung dengan *heatsink* dan kipas [11] atau berdekatan dengan *heatsink* dan kipas [33].



**Gambar 6** Distribusi temperatur ruang pendingin dengan lingkungan.

Adapun beban kalor total dari sistem pendingin ruang termoelektrik sepanjang waktu penelitian dapat dilihat dibawah ini:

$$q_c = q_{hilang} + q_{transmisi}$$

$$q_c = 171,16 \text{ W} + 245,54 \text{ W}$$

$$q_c = 416,70 \text{ W}$$

Sementara energi listrik yang membangkitkan termoelektrik yang dipasok oleh sel surya sepanjang waktu penelitian didapat sebesar 413,23 W. Adapun koefisien kinerja sistem pendingin ruang termoelektrik didapat dengan membandingkan total beban kalor dengan total energi listrik yang membangkitkan termoelektrik. Perhitungan koefisien kinerja dapat dilihat di bawah ini:

$$CoP = \frac{q_c}{P_{in}}$$

$$CoP = \frac{416,70 \text{ W}}{413,23 \text{ W}}$$

$$CoP = 1,01$$

## 4 SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pendingin ruangan termoelektrik yang dirangkai seri dengan sel surya sebagai sumber listriknya, didapat hasil daya keluaran sel surya secara keseluruhan sebesar 413,23 W. Temperatur terendah ruang pendingin yang dicapai sebesar 24,2°C. Sementara beban keseluruhan ruang pendingin sebesar 416,70 W dengan CoP yang dicapai oleh sistem pendingin termoelektrik sebesar 1,01.

Sebagai perbaikan untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk memperhatikan dan memperbaiki

celah antara sistem pendingin termoelektrik dengan rangka dan ruang pendingin.

## KEPUSTAKAAN

- [1] M. K. Usman, S. Syarifudin, and S. S. Budi, "Upaya Peningkatan Pengetahuan Energi Terbarukan Di SMK Ma'Arif NU Talang Kota Tegal," *J. Pengabd. Masy. Bumi Raflesia*, vol. 3, no. 2, pp. 374–378, 2020, doi: 10.36085/jpmbr.v3i2.915.
- [2] R. Hidayat *et al.*, "Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Aplikasi Beban Rendah (600 W)," *J. INTEKNA Inf. Tek. dan Niaga*, vol. 17, no. 1, pp. 29–36, 2017, doi: 10.31961/intekna.v17i1.490.
- [3] Rifky, A. Fikri, and M. Mujirudin, "Roofs and Walls of Buildings as a Media for Converting Solar Thermal Energy into Electrical Energy," in *Procedia of Engineering and Life Science*, 2021, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, doi: 10.21070/pels.v1i1.793.
- [4] 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, doi: 10.1063/1.4979238.
- [5] R. C. P. Sigalingging, "Studi Dampak Penggunaan Insulasi pada Bangunan Rumah Tinggal terhadap Konsumsi Energi Pendingin Ruangan," *J. Sci. Appl. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 418–426, 2021, doi: 10.35472/jsat.v5i2.610.
- [6] Mirmanto, R. Sutanto, and D. K. Putra, "Unjuk Kerja Kotak Pendingin Termoelektrik dengan Varuasi Laju Aliran Massa Air Pendingin," *J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 44–49, 2018, doi: 10.22441/jtm.v7i1.2307.
- [7] O. B. Tsvetkov, Y. A. Laptev, A. V. Sharkov, V. V. Mitropov, and A. V. Fedorov, "Alternative Refrigerants with Low Global Warming Potential for Refrigeration and Air-Conditioning Industries," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 905, no. 1, pp. 5–9, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/905/1/012070.
- [8] R. Pratama and L. Parinduri, "Penanggulangan Pemanasan Global," *Bul. Utama Tek.*, vol. 15, no. 1, pp. 91–95, 2019.
- [9] M. Xue, N. Kojima, L. Zhou, T. Machimura, and A. Tokai, "Trade-Off Analysis Between Global Impact Potential and Local Risk: A Case Study of Refrigerants," *J. Clean. Prod.*, vol. 217, pp. 627–632, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.293.
- [10] Mirmanto, S. Syahrul, and Y. Wirdan, "Experimental Performances of a Thermoelectric Cooler Box with Thermoelectric Position Variations," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 22, no. 1, pp. 177–184, 2019, doi: 10.1016/j.jestch.2018.09.006.
- [11] Rifky and Y. S. Gaos, "Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC)," *Teknobiz*, vol. 10, no. 1, pp. 34–40, 2020.
- [12] A. F. Moazzez, G. Najafi, B. Ghobadian, and S. S. Hoseini, "Numerical Simulation and Experimental Investigation of Air Cooling System Using Thermoelectric Cooling System," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 139, no. 4, pp. 2553–2563, 2019, doi: 10.1007/s10973-019-08899-x.
- [13] E. S. Jeong, "Optimization of thermoelectric modules for maximum cooling capacity," *Cryogenics (Guildf.)*, vol. 114, no. November 2020, p. 103241, 2021, doi: 10.1016/j.cryogenics.2020.103241.
- [14] H. F. Putra, D. Suprayogi, T. A. Ajiwiguna, and M. Eng, "Pengembangan Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik dengan Memanfaatkan Heatpipes sebagai Komponen Pelepas Kalor," in *e-Proceeding of Engineering*, 2018, vol. 5, no. 3, pp. 5801–5808.
- [15] H. Ananta, Y. A. Padang, and M. Mirmanto, "Unjuk Kerja Kulkas Termoelektrik dengan Rangkaian Seri dan Paralel pada Beban Air 1500 ml," *Din. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 80–86, 2017, doi: 10.29303/d.v7i2.157.
- [16] M. Azhar and D. A. Satriawan, "Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional," *Adm. Law Gov. J.*, vol. 1, no. 4, pp. 398–412, 2018, doi: 10.14710/alj.v1i4.398-412.
- [17] H. S. Lee, *Thermal Design: Heat Sinks, Thermoelectrics, Heat Pipes, Compact Heat Exchangers, and Solar Cells*, First Edit. Canada: John Wiley & Sons, Ltd, 2010.
- [18] Z. Sen, "Solar Energy in Progress and Future Research Trends," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 30, no. 4, pp. 367–416, 2004, doi: 10.1016/j.pecs.2004.02.004.
- [19] C. A. Siregar, A. M. Siregar, M. Daud, and M. D. Nasution, "Pemetaan Potensi Radiasi Matahari Berdasarkan Perhitungan Matematika di Sumatera Utara," in *Seminar*

- Nasional Teknologi Edukasi dan Humaniora*, 2021, vol. 1, pp. 72–77, doi: <https://doi.org/10.53695/sintesa.v1i1.207>.
- [20] P. Harahap, “Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya terhadap Daya yang Dihasilkan dari Berbagai Jenis Sel Surya,” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 73–80, 2020, doi: 10.30596/rele.v2i2.4420.
- [21] Rifky and O. Heriyani, “Car Cabin Cooling System Using Solar Energy,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1088, no. 1, p. 012055, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1088/1/012055.
- [22] Muchammad and E. Yohana, “Pengaruh Suhu Permukaan Photovoltaic Module 50 Watt Peak Terhadap Daya Keluaran Yang Dihasilkan Menggunakan Reflektor Dengan Variasi Sudut Reflektor 00, 500, 600, 700, 800,” *Rotasi*, vol. 12, no. 3, pp. 14–18, 2010.
- [23] E. Saputra, D. Purwanto, S. R. Rahim, and A. I. Bakhtiar, “Peningkatan Performa Panel Surya dengan Sistem Pendingin untuk Mereduksi Panas Permukaan,” *J. Media Mesin*, vol. 23, no. 1, pp. 28–35, 2021.
- [24] R. Pido, S. Himran, and Mahmuddin, “Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi,” *Teknologi*, vol. 19, no. 1, pp. 31–38, 2018.
- [25] A. T. A. Salim and B. Indarto, “Studi Eksperimental Karakterisasi Elemen Termoelektrik Peltier Tipe TEC,” *JEECAE (Journal Electr. Electron. Control. Automot. Eng.)*, vol. 3, no. 1, pp. 179–182, 2018, doi: 10.32486/jeecae.v3i1.211.
- [26] Y. A. Cengel and A. J. Ghajar, *Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications*, Fifth Edit. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [27] J. P. Holman, *Heat Transfer*, Tenth Edit. New York: McGraw-Hill, 2010.
- [28] Hengki, M. Rahmat, and S. P. Sutisna, “Analisa Efisiensi Energi Alat Pendingin Portable di Sepeda Motor,” *MEKANIKA*, vol. 1, no. 2, pp. 1–10, 2020.
- [29] M. Usman, “Analisis Intensitas Cahaya terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan Panel Surya,” *Power Elektron. J. Orang Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 52–57, 2020, doi: 10.30591/polektron.v9i2.2047.
- [30] M. M. Aboelmaaref *et al.*, “Design and Performance Analysis of A Thermoelectric Air-Conditioning System Driven by Solar Photovoltaic Panels,” *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–14, 2020, doi: 10.1177/0954406220976164.
- [31] D. Liestyowati, I. Rachman, E. Firmansyah, and M. Mujiburrohman, “Rancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berkapasitas 100 WP dengan Inverter 1000 Watt,” *INSOLOGI J. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 5, pp. 623–634, 2022, doi: 10.55123/insologi.v1i5.1027.
- [32] A. Asrori and E. Yudiyanto, “Kajian Karakteristik Temperatur Permukaan Panel terhadap Performansi Instalasi Panel Surya Tipe Mono dan Polikristal,” *Flywheel J. Tek. Mesin Untirta*, vol. V, no. 2, pp. 68–74, 2019.
- [33] A. Silfiyati, “Kaji Eksperimental Distribusi Temperatur pada *Portable Cold Storage* dengan Termoelektrik TEC1-12706,” Sepuluh Nopember Institute Of Technology, 2016.