

Sistem Pendingin Bertenaga Surya pada Model Ruang Pendingin

Rifky¹⁾, Agus Fikri²⁾, Mohammad Yusuf Djeli³⁾, Delvis Agusman⁴⁾ & Pancatutva Hesti Gunawan⁵⁾

^{1,2,3,4,5)}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.

Telp.(021) 8400941 Fax.(021) 87782739

Website: www.ftuhamka.ac.id

E-mail: rifky@uhamka.ac.id

Abstrak

Energi surya masih menjadi harapan besar dalam menggantikan energi fosil, karena potensinya, kemudahan dalam memperolehnya serta ramah terhadap lingkungan. Konversi energi surya menjadi energi termal atau energi listrik bukan akhir dari pemanfaatan energi surya dalam kehidupan. Dengan media dua konverter energi yakni sel surya dan termoelektrik energi surya dapat dimanfaatkan untuk membuat sistem pendingin ruang. Model ruang pendingin dapat dibuat dari kotak sederhana sampai ruangan dalam bangunan. Adapun yang ingin dicapai penelitian ini untuk mendapatkan sebanyak mungkin penyerapan kalor dari ruang di bawahnya dan mendapatkan temperatur terendah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental. Pada model ruang pendingin bagian atasnya ditempatkan sel surya dan termoelektrik yang diberi ruang pembuangan panas dari termoelektrik. Susunan sistem pendingin terdiri dari pendingin termoelektrik dan heatsink sebagai penyerap kalor. Penelitian ini menghasilkan capaian kinerja model ruang pendingin dengan nilai CoP sebesar 0,989. Sementara temperatur terendah yang dicapai oleh model ruang pendingin sebesar 25,60 °C.

Kata kunci: energi, sel surya, termoelektrik, pendingin

Abstract

Solar energy is still a big hope in replacing fossil energy, because of its potential, ease of obtaining it and being friendly to the environment. Converting solar energy into thermal energy or electrical energy is not the end of the utilization of solar energy in life. With the media of two energy converters namely solar cells and thermoelectric solar energy can be used to make a space cooling system. Cold room models can be made from simple boxes to rooms in buildings. What this research wants to achieve is to get as much heat absorption as possible from the space below and get the lowest temperature. The method used in this research is experimental. In the cooling chamber model, the top part is placed solar and thermoelectric cells which are given heat dissipation space from the thermoelectric. The cooling system arrangement consists of a thermoelectric cooler and a heatsink as a heat sink. This research resulted in the performance of the cold room model with a CoP value of 0.989. While the lowest temperature achieved by the cold room model is 25.60 °C.

Keywords: energy, solar cell, thermoelectric, cooler

1 PENDAHULUAN

Permintaan energi semakin besar seiring dengan ledakan penduduk, kemajuan teknologi [1] dan ekonomi [2].

Energi surya memiliki potensi yang besar dan memberi kesempatan untuk dimanfaatkan pada kehidupan yang semakin sarat dengan konsumsi energi untuk keperluan pemanasan, pendinginan, dan listrik [3] di permukaan bumi. Selain sebagai energi baru dan terbarukan, energi surya termasuk energi bersih [4] dan aman untuk digunakan dalam hidup dan kehidupan. Sudah sejak dahulu secara tradisional jenis energi pionir ini dimanfaatkan untuk menanam tanaman, mengeringkan hasil bumi dan hasil laut, serta mengeringkan pakaian [5].

Untuk memanfaatkannya energi surya dieksploitasi, dikonversi, dan dikonservasi dengan tahap-tahap

fungsional sebagai berikut, seperti penangkapan, pengubahan, dan penyimpanan [3] dalam sistem yang berkaitan dan terpadu.

Energi surya dapat diubah menjadi panas, listrik [6], [7], [8] atau bahan bakar surya [9]. Listrik dapat dihasilkan dari energi surya baik secara langsung menggunakan sel surya [2] maupun mengubahnya lebih dahulu menjadi energi termal. Teknologi yang sudah diaplikasikan pada energi surya adalah teknologi fotovoltaik (sel surya) konvensional, konsentrasi fotovoltaik (pemusatan sel surya), dan teknologi termal surya (pemanfaatan panas surya yang modern) [10], serta teknologi energi surya-hidrogen (penggunaan gas hidrogen sebagai sumber energi)[4].

Sementara termoelektrik dapat memanfaatkan energi listrik untuk diubah menjadi energi termal. Dengan pasokan energi listrik termoelektrik dapat berfungsi

sebagai pompa kalor atau sebagai pendingin. Dengan demikian sel surya yang memanfaatkan intensitas radiasi cahaya surya mengubahnya menjadi energi listrik. Energi listrik tersebut digunakan sebagai pendingin termoelektrik untuk mendinginkan ruang, baik berupa kotak maupun sebagai pendingin udara dalam ruang bangunan.

Untuk memenuhi permintaan dan kebutuhan pendingin udara baik jenis regenerasi maupun sistem pengkondisian udara pada ruang-ruang di dalam bangunan dibutuhkan ketersediaan dan kecukupan mesin pendingin yang teknologinya digerakkan secara termal dan elektrik. Teknologi memproduksi ‘dingin’ tersebut secara konvensional didominasi sistem pendingin kompresi [3] yang sudah sejak lama berkembang hingga saat ini. Umumnya ada dua macam teknologi pendinginan yang selama ini digunakan dalam sistem tersebut, yaitu sistem kompresi uap bertenaga listrik (menggunakan gas Freon) dan sistem pendinginan memanfaatkan penyerapan kalor [3]. Teknologi termoelektrik dalam perannya untuk menghasilkan kondisi dingin dapat menjadi solusi dari kelemahan teknologi konvensional di atas. Pendingin termoelektrik berkesempatan dikembangkan hingga menjadi alternatif dan memberi kontribusi dalam pengembangan teknologi pendingin terutama untuk pendingin ruang dalam bangunan atau kendaraan.

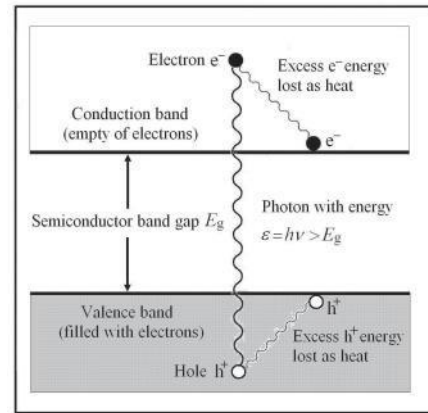
2 DASAR TEORI

Teknologi energi surya yang khas (pengeringan surya, pendinginan surya dan AC, pemanas air surya, memasak dengan tenaga surya dan pembangkit tenaga surya melalui PV surya dan tenaga surya terkonsentrasi) [11].

Konversi langsung radiasi surya menjadi listrik [12], [2], [9], [13] terjadi karena efek fotovoltaik [14], [2], [15].

Teknologi fotovoltaik pada sel surya merupakan teknologi yang berbasis dan mengadaptasi dari teknologi material semikonduktor [16]. Dengan demikian teknologi sel surya ini memproduksi daya listrik hanya dari transfer energi yang dikandung foton [3] kepada elektron sehingga elektron dapat tereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi. Tentunya, energi yang diberikan foton memiliki energi lebih tinggi atau lebih besar dari energi pita celah dari material semikonduktor tersebut sebagai penyerapnya.

Energi berguna dari energi foton yang mengkonversi menjadi listrik adalah yang sama dengan energi pita celah. Pembangkitan energi dari pasangan elektron-lubang, digambarkan pada Gambar 1 di bawah ini [3].

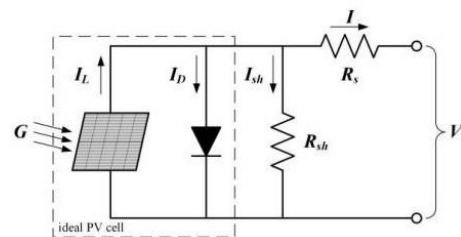


Gambar 1 Pembangkitan energi pasangan elektron-lubang [17]

Terlepas dari material dan teknologi manufaktur, sel PV surya dapat dimodelkan menggunakan rangkaian listrik yang setara (Gambar 2), dan secara matematis dijelaskan dengan rumus [8]:

$$I = I_l - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{nqkT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \dots\dots\dots (1)$$

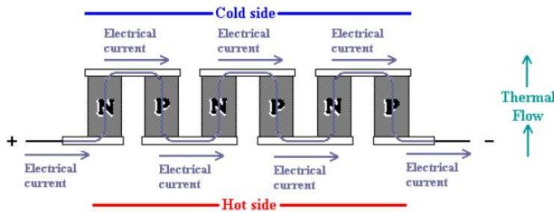
dimana arus keluaran, I, berbanding terbalik dengan temperatur absolut, T, faktor idealitas, n, dan konstanta Boltzmann, k, berbanding lurus dengan muatan elementer, q. Oleh karena itu, studi analitik dan eksperimental, menunjukkan perilaku yang sama dari keluaran sel PV: tegangan rangkaian terbuka menurun dengan meningkatnya temperatur sel [8].



Gambar 2 Ekuivalen rangkaian listrik untuk sel PV

Modul termoelektrik dibuat menggunakan dua pelat keramik kecil tipis dengan serangkaian material semikonduktor bismut-telurida yang didoping P dan N, diapit di antara keduanya. Material tipe N memiliki kelebihan elektron, sedangkan material tipe P memiliki kekurangan elektron. Satu P dan satu N membentuk pasangan. Pasangan termoelektrik secara

elektrik dalam seri dan termal secara paralel [18]. Susunan elemen termoelektrik digambarkan seperti berikut.

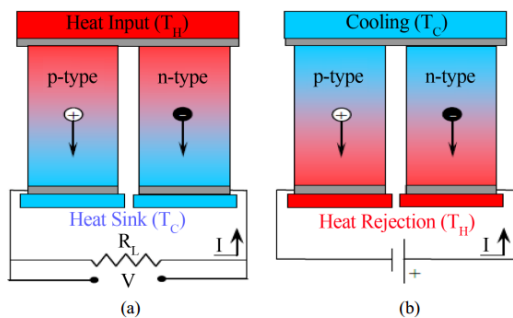


Gambar 3. Elemen termoelektrik dalam rangkaian seri [19]

Ketika bahan konduktif mengalami gradien termal, pembawa muatan bermigrasi sepanjang gradien dari panas ke dingin, ini adalah efek Seebeck [19], [20], [21]. Efek Peltier menjelaskan adanya efek pemanasan atau pendinginan kecil yang terjadi ketika arus dipaksa melalui persimpangan dua logam yang berbeda [19], [20], [21]. Sementara efek Thomson menerangkan ada pertukaran panas dengan lingkungan ketika ada gradien temperatur dan aliran arus listrik dalam sebuah konduktor [19].

Pada prinsipnya modul termoelektrik dalam aplikasinya dapat digunakan sebagai perangkat yang menghasilkan listrik, yakni generator termoelektrik (TEG) [22] dan perangkat yang menghasilkan kondisi penyerapan kalor dari sekitarnya, yakni sebagai pendingin termoelektrik (TEC) [3].

Secara skema, konstruksi antara TEG dan TEC dapat dibandingkan yang ditampilkan Gambar 4 di bawah ini [23].



Gambar 4 Perangkat modul termoelektrik untuk (a) pembangkit listrik oleh efek Seebeck dan (b) pendinginan oleh efek Peltier

Kinerja perangkat TEG adalah fungsi dari material pembuatnya [19], desain modul dan parameter desain pertukaran kalor [24].

Perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin modul termoelektrik akan menentukan besarnya perbedaan tegangan listrik dan arah aliran kalor, sehingga mempengaruhi besarnya polaritas tegangan [25]. Spesifiknya, pada pendingin termoelektrik tenaga listrik yang dipasok dari luar dan masuk melintasi

pasangan elemen yang terdapat pada material termoelektrik memberikan besarnya nilai tegangan [24]:

$$V = \alpha (T_h - T_c) + IR \dots \dots \dots (2)$$

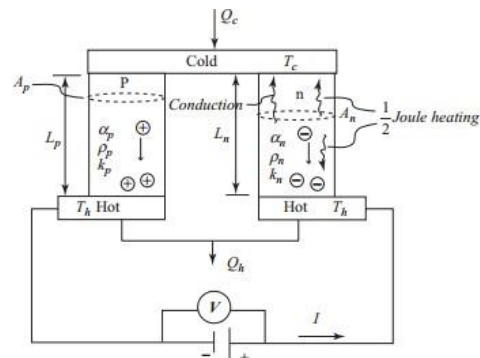
Perbedaan temperatur yang maksimum antara sisi panas dan sisi dingin modul termoelektrik terjadi ketika arus mencapai harga maksimum dan pada cold junction terjadi kehilangan panas hingga mencapai nol. Besarnya arus maksimum ditentukan dengan persamaan berikut [24]:

$$I_{max} = \frac{\alpha T_c}{R} \dots \dots \dots (3)$$

Besarnya arus maksimum diikuti dengan tidak adanya beban kalor. Hal ini menimbulkan tegangan maksimum yang ditentukan sebagai [24]:

$$V_{max} = \alpha (\Delta T_{max} + T_c) \dots \dots \dots (4)$$

Secara sederhana sistem pendingin termoelektrik dengan karakteristik modul, rangkaian listrik aliran elektron, dan aliran panasnya digambarkan pada Gambar 5 di bawah ini [25].



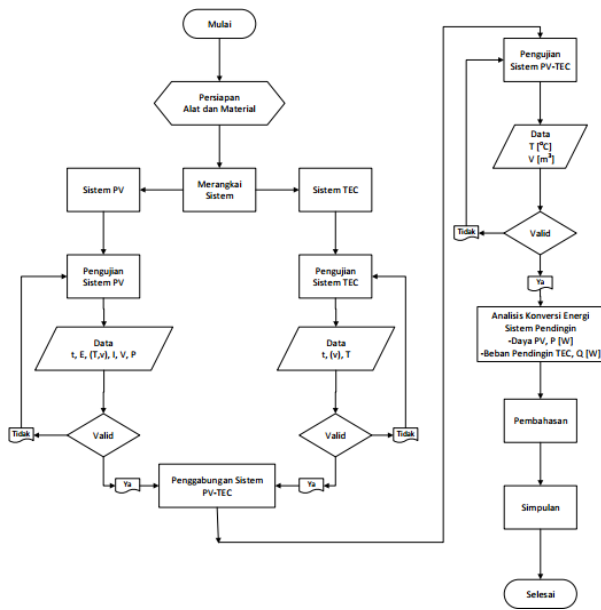
Gambar 5 Rangkaian pendingin termoelektrik

Pada dasarnya prinsip kerja sistem pendingin termoelektrik, dimulai dengan pasokan tenaga listrik dari sumber luar. Sumber menghasilkan arus listrik DC yang dialirkan ke elemen Peltier (modul termoelektrik). Elemen-elemen ini terdiri atas sejumlah pasangan sel-sel semikonduktor tipe N (semikonduktor memiliki tingkat energi lebih rendah) dan tipe P (semikonduktor mempunyai tingkat energi lebih tinggi). Konsekuensinya, pada satu sisi elemen Peltier menjadi dingin (kalor diserap) dan sisi lainnya menjadi panas (kalor dilepaskan) [3]. Penyerapan kalor terjadi pada sisi dingin dan pelepasan kalor pada sisi panas modul termoelektrik. Untuk memperbesar proses penyerapan dan pelepasan kalor, maka modul-modul termoelektrik dapat dirangkai dengan susunan rangkaian listriknya. Sambungan seri, paralel, atau kombinasinya dapat dijadikan variabel penelitian selanjutnya.

3 METODOLOGI PENELITIAN

Rancang bangun dan pembuatan alat penelitian dilakukan lebih dahulu. Model ruang pendingin didesain berupa rak dengan ruang pendingin di bawahnya. Untuk penempatan panel surya, pendingin termoelektrik, dan *heatsink* dibuat sedemikian di atas ruang pendingin. Sebelum susunan dibuat, maka untuk sistem pendingin termoelektrik dibuat lebih dulu. Sebanyak 21 modul termoelektrik dirangkai dengan dibatasi isolator *styrofoam* dan dilekatkan sisi dingin termoelektrik dengan *heatsink*. Setelah susunan sistem pendingin selesai, maka dirakit dengan fotovoltaiik dan seluruh konverter energi tersebut diletakkan di atas ruang pendingin. Sebelumnya secara terpisah panel surya dan pendingin termoelektrik diuji kinerjanya. Sistem yang sudah terpadu itu dilakukan uji kelayakan dalam operasioannya.

Secara skematis, metodologi penelitian yang dilakukan digambarkan pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6 Diagram alir penelitian

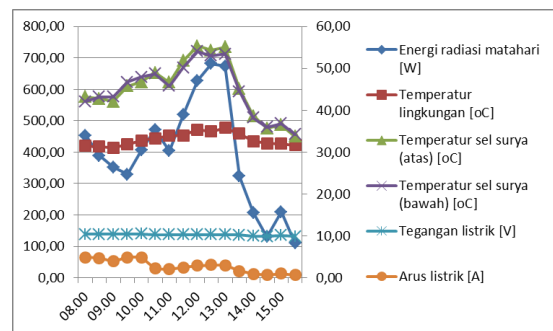
Pengamatan terhadap sistem kerja alat, komponen, dan sambungan antar komponen, serta data masukan dan luaran yang diperoleh dilakukan dengan ketat dan teliti sambil dilakukan pengamatan dan pengambilan data. Data masukan sistem pendingin ini adalah intensitas radiasi cahaya surya, kelembaban udara, temperatur (ambien/lingkungan, sisi atas panel surya, sisi bawah panel surya, sisi panas termoelektrik, sisi dingin termoelektrik, *heat sink*); sedangkan data luarannya adalah temperatur ruang pendingin.

Pemeriksaan terhadap komponen terkait dan sistem sambungan antar komponen pendukung adalah tindakan persiapan untuk pengambilan data yang sebenarnya. Ketika alat dioperasikan data diambil dengan dicatat dari alat ukur yang tersedia. Setelah semua data sudah diperoleh dilakukan pengolahan data.

4 TEMUAN DAN PEMBAHASAN

Pada sistem pendingin yang merupakan integrasi panel surya dengan pendingin termoelektrik ini tersusun atas perangkat yang berkaitan, terpadu, dan terkoneksi. Perangkat tersebut adalah satu modul panel surya, sistem pendingin termoelektrik yang terdiri atas 21 modul termoelektrik yang dilekatkan *heatsink* sejumlah modul termoelektrik tersebut, serta ruang pendingin[3]. Lebih tepatnya, *heatsink* yang ditempatkan pada sisi dingin TEC disebut sebagai *coldsink*.

Seperti diulas di atas, pada sistem pendingin ini kedudukan panel surya sebagai perangkat yang menyediakan tenaga listrik bagi sistem. Listrik yang diperoleh berasal dari konversi energi cahaya surya[8]. Sebagai sebuah sistem sel surya memproses masukan energi dan menghasilkan luaran energi dimana banyak faktor yang mempengaruhi proses konversi energi tersebut. Salah satunya adalah temperatur. Gambar 7 di bawah ini menyajikan korelasi antara intensitas radiasi, temperatur, dan luaran energi yang dihasilkan.



Gambar 7 Korelasi radiasi, temperatur, tegangan, dan arus listrik

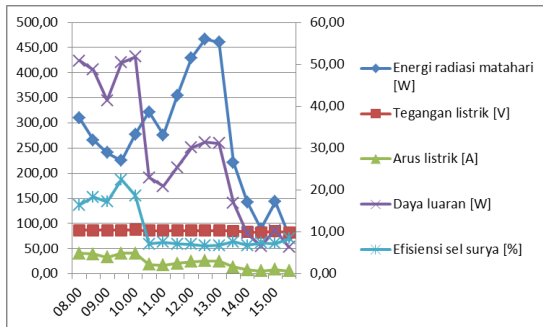
Energi yang dihasilkan sel surya adalah besaran listrik yang terdiri atas tegangan listrik dan arus listrik. Tampak pada gambar bahwa tegangan listrik cenderung stabil, sedangkan arus listrik mengalami fluktuasi seiring dengan fluktuasi intensitas radiasi surya[22] yang diserap permukaan panel surya. Pada temperatur sisi atas panel surya dengan temperatur sisi bawah panel surya memberikan beda temperatur yang kecil. Namun, besaran nilai kedua temperatur itu masih dalam rentang temperatur operasionalnya, sehingga tidak memberikan efek negatif pada kinerja panel surya.

Untuk kinerja panel surya sendiri yang diperoleh dari hasil pengukuran besaran masukan dan besaran luaran secara lengkapnya ditampilkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Perhitungan daya luaran dan efisiensi sel surya

No.	Pukul	P _{in} [W]	V (volt)	I (ampere)	P _{out} [W]	η (%)
1	08.00	309,88	10,40	4,89	50,86	16,41
2	08.30	266,10	10,40	4,68	48,67	18,29
3	09.00	240,79	10,40	3,98	41,39	17,19
4	09.30	225,06	10,40	4,85	50,44	22,41
5	10.00	277,73	10,50	4,93	51,77	18,64
6	10.30	322,20	10,30	2,23	22,97	7,13
7	11.00	276,36	10,30	2,03	20,91	7,57
8	11.30	354,35	10,30	2,46	25,34	7,15
9	12.00	429,60	10,30	2,92	30,08	7,00
10	12.30	466,54	10,30	3,05	31,42	6,73
11	13.00	460,38	10,30	3,02	31,11	6,76
12	13.30	221,64	10,20	1,66	16,93	7,64
13	14.00	142,29	10,00	0,96	9,60	6,75
14	14.30	89,61	9,89	0,67	6,63	7,39
15	15.00	143,65	10,10	1,03	10,40	7,24
16	15.30	75,25	9,87	0,64	6,32	8,39
Rata-rata		268,84	10,25	2,75	28,43	10,57

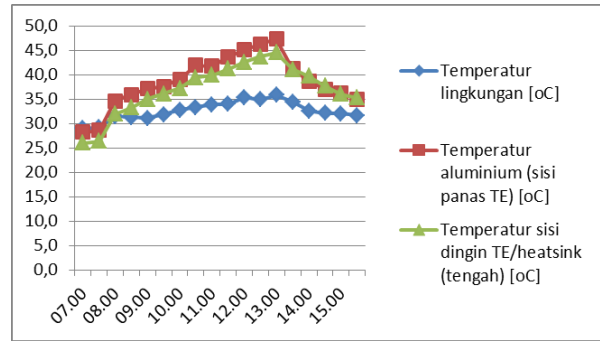
Untuk mendapatkan kejelasan korelasi antara besaran masukan dan besaran luaran dari Tabel 2 di atas, maka disajikan dalam grafik di bawah ini,.



Gambar 8 Distribusi energi radiasi, tegangan, arus, daya, dan efisiensi

Hubungan yang sesuai dan linear besarnya energi radiasi surya dengan daya luaran tampak dari grafik pada Gambar 8 di atas. Selain pengukuran yang cukup akurat didukung juga oleh kondisi cuaca yang menguntungkan bagi beroperasinya sel surya tersebut.

Tenaga listrik dari panel surya diterima susunan modul termoelektrik, yang mengakibatkan perubahan temperatur masing-masing sisi modul termoelektrik. Perubahan temperatur tersebut ditampilkan pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9 Distribusi temperatur pada sistem termoelektrik

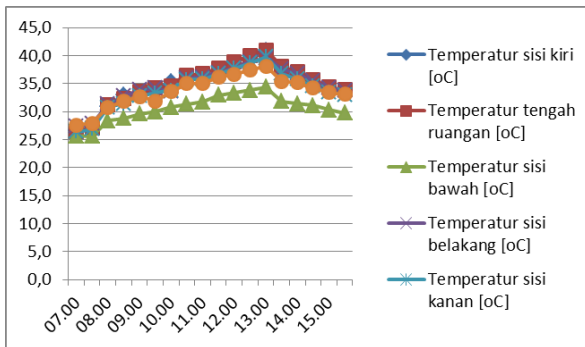
Dari Gambar 9 di atas yang mendeskripsikan sebaran temperatur termoelektrik dan temperatur lingkungan, memperlihatkan bahwa temperatur sisi panas termoelektrik, temperatur sisi dingin termoelektrik, dan temperatur lingkungan, menunjukkan kecenderungan yang sama. Ketika kalor pada sisi panas dilepaskan dan sebagian ditransfer oleh aluminium menyebabkan temperatur sisi panas meningkat melebihi temperatur lingkungan. Tidak adanya pembuangan panas yang berupa heatsink dengan hembusan aliran udara menjadi penyebabnya. Pasokan tenaga listrik yang masuk ke dalam sistem termoelektrik [24] ini belum mampu memberikan perbedaan temperatur sisi panas dan temperatur sisi dingin yang besar dan signifikan, sehingga temperatur sisi dingin lebih tinggi dari temperatur lingkungan.

Sisi dingin sistem pendingin termoelektrik yang menyerap kalor dari ruang pendingin menghasilkan perubahan temperatur pada sisi-sisi dinding dan ruang pendingin. Besar masing-masing temperatur sisi dinding dalam dan ruang pendingin diperlihatkan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Pengukuran temperatur pada ruang pendingin

No.	Pukul	T _{kiri} [°C]	tengah [°C]	T _{atas} [°C]	T _{belakang} [°C]	T _{kanan} [°C]	T _{depan} [°C]	T _{luar} [°C]
1	07.00	26,60	26,50	25,70	27,40	26,40	27,60	
2	07.30	27,10	27,00	25,60	27,80	26,90	27,90	30,10
3	08.00	30,90	31,20	28,40	31,30	30,80	30,80	34,00
4	08.30	32,90	32,40	28,80	32,80	31,40	31,80	33,10
5	09.00	33,10	33,60	29,60	33,90	32,80	32,70	33,30
6	09.30	33,80	34,20	30,00	34,20	33,30	31,90	32,90
7	10.00	35,40	34,60	30,80	33,60	33,80	33,60	33,60
8	10.30	35,80	36,50	31,30	36,00	35,70	35,00	34,80
9	11.00	36,10	36,80	31,70	36,20	35,80	35,10	36,80
10	11.30	37,10	37,80	32,90	37,00	36,80	36,10	37,40
11	12.00	37,90	38,80	33,30	37,80	37,70	36,70	37,70
12	12.30	39,10	40,00	33,80	38,90	38,70	37,40	37,80
13	13.00	41,00	41,00	34,40	39,50	39,80	38,10	38,00
14	13.30	36,90	38,00	31,80	37,60	36,80	35,40	36,10
15	14.00	36,30	37,20	31,40	36,80	35,80	35,20	34,60
16	14.30	35,00	35,70	31,10	35,50	34,50	34,20	33,30
17	15.00	33,70	34,40	30,30	34,20	33,40	33,40	33,00
18	15.30	33,40	33,90	29,70	33,80	33,00	33,10	32,50

Untuk menampilkan distribusi temperatur yang telah disajikan pada Tabel 2 di atas agar lebih mudah dipahami, maka dibuat grafik pada Gambar 10 dibawah ini.



Gambar 10 Distribusi temperatur ruang pendingin

Distribusi temperatur masing-masing sisi dinding dalam dan tengah ruang pendingin menampilkan kecenderungan mendekati kesamaan dan masih tinggi. Hanya temperatur sisi bawah ruang pendingin yang jauh lebih rendah dari sisi lainnya, karena sisi bawah tidak menerima pancaran panas surya [3]. Masih adanya panas yang masuk dari luar akibat pancaran surya, disamping sistem rangkaian sambungan antar modul termoelektrik menjadi penjelasan fenomena ini.

Pembuangan kalor diupayakan semaksimal mungkin pada sisi panas agar sisi dingin dapat menyerap kalor semaksimal mungkin pula dari lingkungan (ruang pendingin). Semakin besar pasokan daya dari panel surya akan menghasikkan perbedaan temperatur semakin besar [24]. Dengan demikian diharapkan, besarnya kalor yang diserap dari ruang pendingin akan menghasilkan temperatur seminimal (serendah) mungkin di ruang pendingin.

Konversi energi dalam ruang pendingin, baik perpindahan kalor (konduksi dan konveksi) maupun penyerapan kalor sampai penentuan kinerja sistem diuraikan melalui perhitungan terlebih dahulu [3] yang hasilnya adalah sebagai berikut:

1. Besar kalor yang hilang dari ruang pendingin ke lingkungan melalui kelima dinding ruang pendingin adalah:

$$q = 21,99321624 \text{ W}$$

2. Beban transmisi, ruang pendingin, yakni beban akibat adanya perpindahan kalor konduksi dan konveksi dari ruang pendingin melalui dinding menuju lingkungan luar, sebesar:

$$q_{transmisi} = 6,012219465 \text{ W}$$

3.

Kalor yang diserap *heatsink* dari ruang pendingin melalui sirip-siripnya. sebesar 0,11298494 W

4. Perhitungan beban pendingin keseluruhan:

$$q = 28,118421 \text{ W}$$

5. Koefisien kinerja [CoP] sistem pendingin sebesar 0,989

5 SIMPULAN DAN SARAN

Dari pembahasan di atas, maka dirangkum dengan simpulan sebagai berikut. Model ruang pendingin memiliki capaian kinerja dengan nilai CoP sebesar 0,989. Sementara temperatur terendah yang dicapai oleh model ruang pendingin sebesar 25,60 °C.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] N. Kannan and D. Vakeesan, "Solar Energy for Future World: - A Review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 62, pp. 1092–1105, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.05.022.
- [2] P. G. V. Sampaio and M. O. A. González, "Photovoltaic Solar Energy: Conceptual Framework," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 74, no. February, pp. 590–601, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.02.081.
- [3] 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.
- [4] Z. Şen, "Solar Energy in Progress and Future Research Trends," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 30, no. 4, pp. 367–416, 2004, doi: 10.1016/j.peccs.2004.02.004.
- [5] S. A. Kalogirou, *Solar Thermal Collectors and Applications*, vol. 30, no. 3. 2004. doi: 10.1016/j.peccs.2004.02.001.
- [6] A. Wahab, A. Hassan, M. A. Qasim, H. M. Ali, H. Babar, and M. U. Sajid, "Solar Energy Systems – Potential of Nanofluids," *J. Mol. Liq.*, vol. 289, 2019, doi: 10.1016/j.molliq.2019.111049.
- [7] E. Biyik *et al.*, "A Key Review of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) Systems," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 20, no. 3, pp. 833–858, 2017, doi: 10.1016/j.jestch.2017.01.009.
- [8] A. G. Lupu, V. M. Homutescu, D. T. Balanescu, and A. Popescu, "A Review of Solar Photovoltaic Systems Cooling Technologies," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 444, no. 8, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/444/8/082016.
- [9] M. B. Hayat, D. Ali, K. C. Monyake, L. Alagha, and N. Ahmed, "Solar Energy—A Look into Power Generation, Challenges, and A Solar-Powered Future," *Int. J. Energy Res.*, vol. 43, no. 3, pp. 1049–1067, 2019, doi: 10.1002/er.4252.
- [10] 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.
- [11] S. K. Sansaniwal, V. Sharma, and J. Mathur, “Energy and Exergy Analyses of Various Typical Solar Energy Applications: A Comprehensive Review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. May, pp. 1576–1601, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.07.003.
- [12] R. Alicki, D. Gelbwaser-Klimovsky, and A. Jenkins, “A Thermodynamic Cycle for The Solar Cell,” *Ann. Phys. (N. Y.)*, vol. 378, pp. 71–87, 2017, doi: 10.1016/j.aop.2017.01.003.
- [13] S. Suherman, A. R. Sunarno, S. Hasan, and R. Harahap, “Water and Heat-sink Cooling System for Increasing The Solar Cell Performances,” *EAI Endorsed Trans. Energy Web*, vol. 7, no. 26, pp. 1–10, 2020, doi: 10.4108/eai.13-7-2018.161050.
- [14] C. G. Popovici, S. V. Hudişteanu, T. D. Mateescu, and N. C. Cherecheş, “Efficiency Improvement of Photovoltaic Panels by Using Air Cooled Heat Sinks,” *Energy Procedia*, vol. 85, no. November 2015, pp. 425–432, 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.223.
- [15] A. Shukla, K. Kant, A. Sharma, and P. H. Biwole, “Cooling Methodologies of Photovoltaic Module for Enhancing Electrical efficiency: A review,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 160, no. October 2016, pp. 275–286, 2017, doi: 10.1016/j.solmat.2016.10.047.
- [16] 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, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.02.030.
- [17] C. J. Chen, *Physics of Solar Energy*. 2011. doi: 10.1002/9781118172841.
- [18] J. Patel, M. Patel, J. Patel, and H. Modi, “Improvement in The COP of Thermoelectric Cooler,” *Improv. COP Thermoelectr. Cool.*, vol. 5, no. 5, pp. 73–76, 2015.
- [19] N. Aimable, “for Waste Heat Recovery in Local Process Industry,” *Des. Model. Fabr. Thermoelectr. Gener.*, 2017.
- [20] A. K. Mainil, A. Aziz, and M. Akmal, “Portable Thermoelectric Cooler Box Performance with Variation of Input Power and Cooling Load,” *Aceh Int. J. Sci. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 85–92, 2018, doi: 10.13170/aijst.7.2.8722.
- [21] A. Varghese, A. Achankunju, R. Mathew, and R. George, “Design and Fabrication of Thermoelectric Refrigerator with Thermosiphon System,” *Int. J. Sci. Eng. Appl. Sci.*, no. 24, pp. 2395–3470, 2016, [Online]. Available: www.ijseas.com
- [22] 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, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2010.03.012.
- [23] 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, doi: 10.4236/ojee.2013.24019.
- [24] I. Nandhakumar, N. M. White, and S. Beeby, *Thermoelectric Materials and Devices*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2017.
- [25] H. Lee, *Heat Sinks, Thermoelectrics, Heat Pipes, Compact Heat Exchangers, and Solar Cells*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.