

Konversi Energi Surya Menjadi Sistem Pendingin Menggunakan Photovoltaic dan Pendingin Termoelektrik yang Dipasang Paralel

Muhammad Isya Ramdhany¹⁾, Rifky^{2)*}

^{1,2)}Program Studi Fakultas Teknik Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka

³⁾Jl Tanah Merdeka no.6 Rambutan Ciracas Jakarta Timur DKI Jakarta 13830

E-mail: rifky@uhamka.ac.id

Abstrak

Hasil konversi energi surya menjadi energi listrik oleh sistem fotovoltaik dapat dimanfaatkan untuk sistem pendingin. Sistem pendingin tersebut adalah perpaduan sistem fotovoltaik dengan sistem pendingin termoelektrik. Energi listrik yang dihasilkan sistem fotovoltaik diubah oleh pendingin termoelektrik menjadi perbedaan temperatur di kedua sisi-sisinya. Pada sisi panas termoelektrik akan dibuang panasnya sebanyak-banyaknya, agar sisi dinginnya dapat menyerap panas sebanyak mungkin. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan koefisien kinerja pendingin dan temperatur yang serendah mungkin dari ruang pendingin. Metode penelitian yang dilakukan adalah metode eksperimental/percobaan. Sebelum dilakukan pengujian dan pengambilan data terlebih dahulu dibuat perangkat penelitian. Perangkat penelitian yang digunakan penelitian ini adalah satu rangka untuk panel surya dan satu rangka untuk pendingin. Rangka panel surya pada bagiannya atasnya diletakan sel surya sedangkan pada rangka pendingin diletakan ruang pendingin yang dindingnya dilapisi styrofoam, alumunium, styrofoam, dan triplek (dari bagian dalam keluar). Penelitian ini menggunakan modul termoelektrik tipe TEC-12706 dalam jumlah tiga buah dan diberi tiga kipas. Data yang diambil terdiri dari data intensitas cahaya matahari, kecepatan angin, temperatur lingkungan, kelembaban udara, temperatur sisi dingin dan temperatur sisi panas termoelektrik, arus dan tegangan listrik yang masuk ke termoelektrik dan temperatur ruang pendingin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien kinerja (CoP) ruang pendingin yang didapat adalah 1,33 dan temperatur terendah yang didapat pada ruang pendingin 22,2°C

Kata kunci: energi, radiasi, photovoltaic, termoelektrik, pendingin

1 PENDAHULUAN

Sejak dahulu energi termal surya telah dimanfaatkan manusia dalam kehidupannya untuk keperluan pengeringan hasil pertanian dan perikanan. Kemudian energi termal surya tersebut dikumpulkan dan terakumulasi oleh sistem terkonsentrasi sehingga dapat digunakan menjadi berbagai keperluan termasuk generator listrik. Konversi energi termal surya menjadi energi listrik melalui proses termal-mekanikal ini adalah konversi tidak langsung. Berkembangnya teknologi semikonduktor menghasilkan konversi langsung energi surya tepatnya energi cahayanya menjadi energi listrik melalui sistem sel surya atau sistem fotovoltaik. Sistem fotovoltaik ini adalah sistem konverter energi dengan metode paling populer dan dikenal luas untuk menghasilkan energi terbarukan dimana sistem ini mengubah cahaya surya menjadi tenaga listrik [1],[2]. Sistem fotovoltaik termasuk salah satu sistem pendukung penggunaan Energi Baru dan

Terbarukan (EBT). Teknologi energi baru dan terbarukan (EBT) jenis ini bebas dari polusi saat beroperasi, dapat meminimalisasi terjadinya pemasanan global, berkontribusi dalam menekan biaya operasional pembangkitan energi, memerlukan biaya perawatan dan pemeliharaan cenderung dapat diminimalkan, dan memiliki kerapatan daya keluaran tertinggi jika dibandingkan dengan jenis EBT lainnya.

Selain sistem fotovoltaik yang dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik secara langsung, ada teknologi lain yang sama-sama berbasis teknologi material yang dapat mengkonversi energi termal menjadi energi listrik secara langsung, yaitu modul termoelektrik. Modul termoelektrik merupakan perangkat yang terdiri dari material termoelektrik. Modul termoelektrik memiliki kemampuan mengubah perbedaan temperatur antara kedua sisi-sisinya (sisi panas dan sisi dingin) menjadi tegangan listrik dan sebaliknya. Perangkat ini mampu mengubah tegangan listrik menjadi perbedaan temperatur yang dapat

dimanfaatkan sisi panasnya atau sisi dinginya. Oleh karena itu modul termoelektrik dapat berfungsi sebagai generator listrik, pompa kalor, atau sumber tenaga pendingin. Pendingin termoelektrik merupakan pengubah energi listrik menjadi penyerapan kalor dari sekitarnya [3]. Hal ini disebabkan modul termoelektrik pada pendingin termoelektrik dapat menyerap kalor pada sisi dinginya dan melepaskan kalor melalui sisi panasnya [4].

Melalui kedua perangkat di atas, yakni sistem fotovoltaik dan pendingin termoelektrik dapat dipadukan untuk memberi kontribusi bagi alternatif penggunaan EBT dan teknologi pendingin yang ramah lingkungan. Seperti diketahui bahwa ini sistem pendingin untuk pendingin ruangan menggunakan sistem pendingin konvensional. Cairan yang digunakan pada sistem pendingin tersebut adalah cairan refrigeran, dimana penggunaan cairan ini memiliki pengaruh terhadap kerusakan lingkungan. Cairan refrigeran memberikan sumbangsih bagi penipisan lapisan ozon dan meningkatkan pemanasan global [5].

Pemanasan global dapat mengakibatkan perubahan iklim dengan terjadinya peningkatan suhu permukaan bumi. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini menitikberatkan untuk pendingin ruangan berbasis termoelektrik yang memanfaatkan fotovoltaik sebagai sumber listrik dari energi surya sehingga menjadi alat yang ramah lingkungan.

2 DASAR TEORI

Panel surya atau yang disebut dengan *photovoltaic* merupakan salah satu perangkat converter energi dapat mengubah energi matahari menjadi tenaga listrik. Masukan daya listrik yang berasal dari intensitas cahaya matahari dapat dihitung besarnya dengan persamaan [3].

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

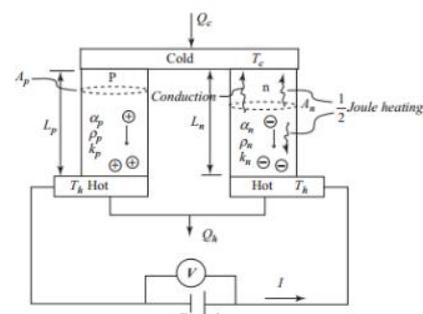
Sementara rumusan tegangan dan arus listrik menghasilkan persamaan daya listrik, dihitung dengan menggunakan persamaan [3].

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

Beberapa besaran pada sistem fotovoltaik, diantaranya tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}), dan faktor pengisian (FF), yang ketiganya merupakan karakteristik eksternal yang dihasilkan oleh kinerja fotovoltaik [3]. Persamaan berikut digunakan sebagai besaran untuk menentukan efisiensi *photovoltaic*, dimana persentase dari jumlah daya keluaran maksimum yang dihasilkan oleh *photovoltaic* dibandingkan daya masukannya, yang dirumuskan berikut ini [8].

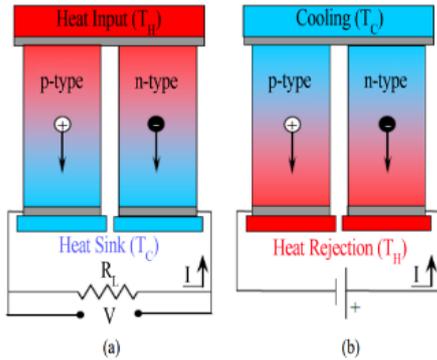
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

Secara harfiah termoelektrik terikat fenomena termal dan listrik. Energi termal bisa berubah menjadi energi listrik karena adanya keterikatan dari termoelektrik secara langsung [3]. Pada perangkat termoelektrik ini mampu membantu pendinginan dengan menyelesaikan proses pendingin. Adapun gambar rangkaian listrik pendingin termoelektrik dapat diperlihatkan dibawah ini.



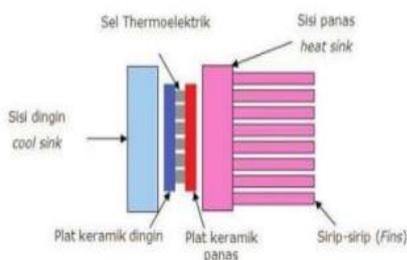
Gambar 1 Rangkaian listrik termoelektrik

Pada gambar 1 menjelaskan sebuah prinsip kerja rangkaian listrik pendingin termoelektrik yang memiliki dua tipe sel semikonduktor sisi rendah (p) dan sisi tinggi (n) bertujuan untuk meningkatkan elemen Peltier menjadi dingin [3]. Dari penggunaannya, modul termoelektrik dapat diklarifikasinya menjadi generator atau pembangkit listrik (TEG) dan sebagai pendingin atau pompa kalor (TEC). Perbedaan dari keduanya dibandingkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2 Aplikasi modul termoelektrik sebagai (a) generator listrik dengan prinsip efek Seebeck dan (b) pendingin atau pompa kalor dengan prinsip efek Peltier

Pada generator termoelektrik dan pendingin termoelektrik adalah dua fusi perangkat pada termoelektrik dimana keduanya berfungsi untuk mengurangi gradien temperatur yang digunakan [3]. *Thermoelectric generator* merupakan jenis pembangkit energi berdasarkan efek Seebeck yang pada dasarnya menyatakan bahwa jika dua bahan logam dihubungkan dalam ruang dengan perbedaan suhu arus listrik atau gaya gerak listrik akan mengalir melalui materialnya [9]. Sedangkan pada *Thermoelectric Cooler* memiliki dua sisi yang mengacu pada modul TEC yang menjadi bagiannya, satu sisi akan menjadi dingin dan sisi lainnya menjadi panas jika listrik 12V DC dialirkan [10]. Pada gambar 3 merupakan susunan dasar termoelektrik yang terdiri dari elemen-elemen Peltier dan Heatsink dapat ditampilkan sebagai berikut.



Gambar 3 Susunan pendingin termoelektrik

Pada gambar diatas menjelaskan tentang komponen susunan pendingin termoelektrik, dimana pada bagian yang didinginkan dapat disambungkan ke sisi modul termoelektrik pendingin (elemen Peltier) secara langsung dan panas yang diperoleh sisi panas elemen Peltier

akan didistribusikan ke lingkungan udara luar baik secara konveksi ataupun melalui media lainnya [11], misalnya *heatsink* atau kipas. Pada perpindahan panas mempelajari tentang bagaimana energi ditransfer antara benda dan bahan sebagai akibat dari perubahan temperatur. Panas berpindah dari tempat atau material yang memiliki temperatur lebih tinggi menuju tempat atau material yang mempunyai temperatur yang lebih rendah.

Perpindahan panas dapat digunakan untuk mengamati perpindahan energi termal dari satu benda atau material ke benda atau material lain serta untuk memahami bagaimana hal ini terjadi [12]. Perpindahan panas yang terjadi pada sistem pendingin ruang berbasis pendingin termoelektrik terdiri dari mekanisme perpindahan panas konduksi dan perpindahan panas konveksi. Perpindahan panas konduksi terjadi karena pelat alumunium yang menyerap panas ke arah panas sistem termoelektrik (rangkaiannya modul termoelektrik) dan panas pada sisi dingin termoelektrik yang diserap heatsink dari ruang pendingin. Panas konduksi adalah panas yang dipindahkan melalui padatan, dimana panas yang dihasilkan tidak diikuti oleh perpindahan partikel [4]. Adapun rumusan mencari hitungan perpindahan konduksi melalui persamaan berikut.

$$q = -k \times h \frac{\partial T}{\partial x} \tag{4}$$

Sementara perpindahan panas konveksi terjadi diantara sirip-sirip *heatsink* yang masuk ke ruang pendingin. Pada persamaan perpindahan panas secara konveksi yang dibuat dengan hukum pendinginan Newton dengan menggunakan perumusan berikut [3].

$$H = h A \Delta T \tag{5}$$

Pada perpindahan konveksi terdapat bilangan tak berdimensi yang terdiri dari Bilangan Prandtl (Pr), Bilangan Nusselt (Nu), Bilangan Grashof (Gr), dan Bilangan Rayleigh dapat dihitung dengan persamaan berikut [3].

$$Nu_x = \frac{hx}{k} \tag{6}$$

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

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

$$Ra = GrPr \quad (9)$$

Sementara untuk mencari perumusan konveksi bebas (alami) dapat digunakan dengan rumusan berikut [3].

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

$$\overline{Nu}^{1/2} = 0,825 + \frac{0,387Ra^{1/6}}{[1 + (\frac{0,492}{Pr})^9]^{8/27}} \quad \text{untuk } 10^{-1} < Ra_L < 10^{12} \quad (11)$$

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh pancaran gelombang elektromagnetik dalam bentuk sinar atau radiasi [4] dari sumber radiator bertemperatur tinggi. Besarnya perpindahan panas radiasi dapat dihitung dengan persamaan berikut [13].

$$q_{emitted} = \sigma AT^4 \quad (12)$$

Panas yang hilang merupakan salah nilai panas yang beralih dari pendingin ruangan ke lingkungan atau yang disebut kalor hilang. Kalor hilang pada sistem pendingin dihitung menggunakan prinsip perpindahan panas konduksi pada dinding datar dengan beberapa lapisan material pada dinding yang dihitung dengan persamaan berikut.

$$Q = \frac{T_{lingkungan} - T_{ruang pendingin}}{\left(\frac{\Delta x}{k_A}\right)_{styrofoam} + \left(\frac{\Delta x}{k_A}\right)_{Aluminium} + \left(\frac{\Delta x}{k_A}\right)_{styrofoam} + \left(\frac{\Delta x}{k_A}\right)_{Triplek}} \quad (13)$$

Pada perpindahan panas memiliki beban panas transmisi atau kalor transmisi akibat dari terjadinya perpindahan panas konduksi dan konveksi dalam ruang pendingin dan melintasi seluruh dinding pendingin hingga ke luar ruang pendingin. Untuk menghitung beban kalor transmisi digunakan persamaan dibawah ini.

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (14)$$

Adapun untuk menentukan koefisien perpindahan panas menyeluruh pada dinding pendingin dan penutup pendingin dipakai persamaan berikut.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{in}} + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + \frac{1}{h_{out}}} \quad (15)$$

Sistem pendingin berfungsi sebagai penjaga temperatur atau mempertahankan temperatur dalam keadaan yang diinginkan dalam kondisi dingin. Kebutuhan pendingin udara dan ruangan harus menyediakan mesin pendingin yang digerakan oleh listrik dan termal [3],[14]. Pada penelitian ini sistem pendingin berupa kotak pendingin yang menggunakan sistem termoelektrik sebagai sumber pendingin. Tenaga listrik yang dibutuhkan sistem ditransferkan ke sistem *Thermoelectric Cooler* yang dipasang dari hasil konversi energi cahaya surya menjadi listrik dan ditransformasi oleh generator PV.

Prinsip kerja sistem pendingin berbasis pendingin termoelektrik berawal pada arus DC yang dialirkan ke elemen Peltier dengan beberapa rangkaian semikonduktor yang menyebabkan elemen Peltier menjadi sistem pendingin [4]. Koefisien kinerja CoP merupakan rasio koefisien pemanasan atau pendinginan yang ditawarkan untuk persyaratan kinerja Peltier dalam aplikasi pendingin termoelektrik [14]. Untuk menentukan perhitungan kinerja pendingin ditentukan dengan persamaan berikut [3].

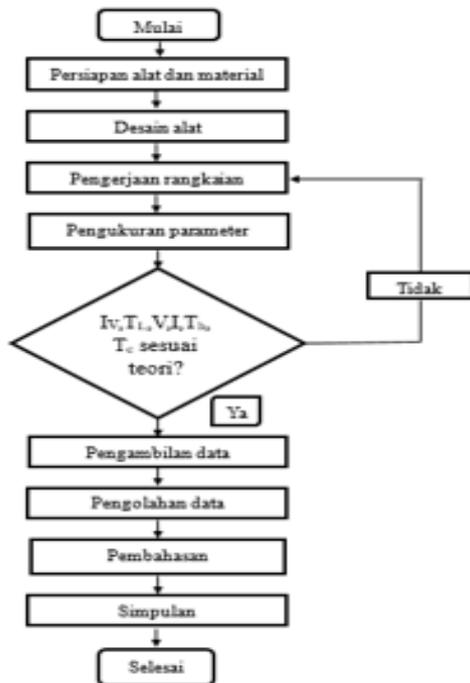
$$CoP = \frac{q_c}{P_{in}} \quad (16)$$

3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimental yang lebih dulu dilakukan perancangan alat penelitian. Material yang digunakan yaitu plat aluminium, *styrofoam* dan triplek sebagai isolator. Rangka sel surya menggunakan bahan baja untuk meletakkan panel surya, sementara rangka dengan kotak pendingin menggunakan material baja yang didalam dindingnya dilapisi dengan *styrofoam*, aluminium dan pada bagian luar dilapisi dengan *styrofoam* dan triplek. Sebelum dilakukan uji coba (eksperimen) dengan mengamati hasil pengukuran variabel masukan dengan variabel keluaran, maka sistem pendingin dirangkai lebih dulu. Perangkaian sistem fotovoltaiik, sistem pendingin termoelektrik, dan ruang pendingin (kotak pendingin). Sistem modul pendingin termoelektrik terdiri dari tiga modul

termoelektrik yang dilekatkan *heatsink* baik sisi panas maupun sisi dinginnya dan diantara celahnya (ukuran modul termoelektrik lebih kecil *heatsink*, sehingga ada celah) diselipkan isolator *styrofoam*. Untuk memperbesar pembuangan panas pada sisi panas sistem termoelektrik, maka dipasangkan kipas. Setelah sistem pendingin beserta kotak pendingin selesai disusun, maka dilanjutkan dengan menggabungkannya dengan fotovoltaiik.

Metodologi penelitian yang digunakan penelitian ini skemanya digambarkan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4 Diagram alir penelitian

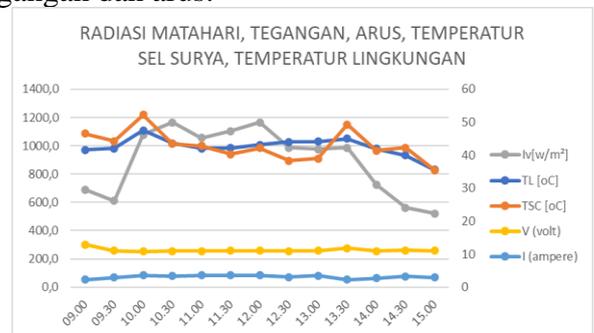
Pengamatan dan pengukuran terhadap variabel data masukan dan data luaran yang dihasilkan dilakukan dengan teliti sekaligus dilakukan korelasinya untuk mengetahui validitas dan reabilitas data. Data masukan sistem pendingin yang diperoleh adalah intensitas radiasi surya, kelembaban udara, temperatur (lingkungan, sisi atas dan sisi bawah panel surya, sisi panas termoelektrik, sisi dingin termoelektrik, *heatsink*), sementara data luaran yang didapat adalah temperatur ruang pendingin baik temperatur sisi-sisi dalam semua dinding kotak pendingin maupun temperatur tengah ruang kotak pendingin.

Pemeriksaan pada komponen yang sudah disiapkan dan sambungan antar komponen lainnya adalah kegiatan untuk persiapan

pengambilan data yang sesungguhnya. Pada saat pengambilan data alat yang sedang digunakan dan diukur dicatat hasilnya. Setelah semua data sudah didapat kemudian dilakukan pengolahan data.

4 TEMUAN DAN PEMBAHASAN

Seperti yang sudah diulas diatas, pada sistem pendingin kotak pendingin berbasis pendingin termoelektrik ini keadaan panel surya sebagai perangkat yang menyediakan energi listrik untuk sistem. Sebagaimana diketahui bahwa pada sistem sel surya dalam mengoperasikan proses konversi energi dimana relasi antara masukan energi dan yang menghasilkan keluaran energi dipengaruhi banyak faktor (sebagai variabel control atau variabel moderator) yang salah satunya ialah temperatur. Gambar 5 memperlihatkan adanya relasi radiasi matahari, temperatur sel surya, temperatur lingkungan, tegangan dan arus.

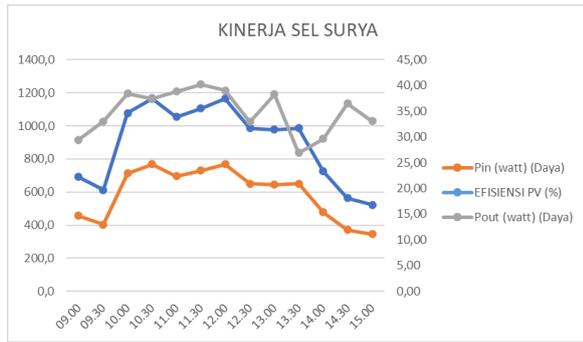


Gambar 5 Radiasi matahari, tegangan, arus, temperatur sel surya, temperatur lingkungan

Pada Gambar 5, terlihat intensitas matahari meningkat saat tengah hari (pukul 10.00 – 12.00) dan menurun setelahnya. Pola intensitas cahaya matahari cenderung sesuai dengan pola grafik temperatur lingkungan. Hal ini berarti kondisi cuaca cukup mendukung saat pengambilan data. Demikian pula halnya dengan temperatur permukaan panel surya. Luaran dari sel surya adalah tegangan listrik dan arus listrik yang cenderung konstan. Namun, secara umum antara intensitas cahaya matahari dengan tegangan listrik dan arus listrik memiliki pola kecenderungan yang sesuai. Intensitas cahaya matahari berkorelasi linier dengan tegangan dan arus yang dihasilkan sel surya [3].

Untuk kinerja sel surya juga menghasilkan pengukuran besaran masukan dan besaran luaran

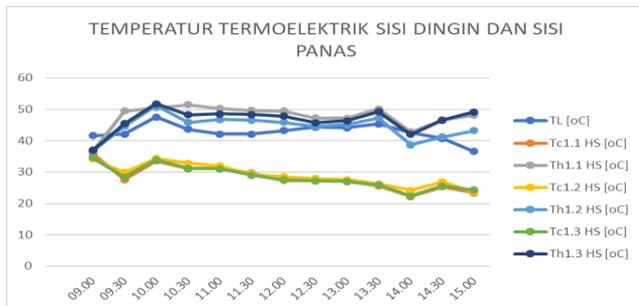
secara lengkap dapat diperlihatkan pada Gambar 6 dibawah ini



Gambar 6 Daya (p_{in},p_{out}) sel surya, efisiensi sel Surya

Pada Gambar 6 di atas memperlihatkan bahwa intensitas cahaya matahari yang diterima sel surya yang memberikan daya masukan, sehingga hasil konversinya adalah daya luaran memiliki pola grafik yang sesuai. Demikian pula dengan efisiensi, dimana efisiensi dipengaruhi oleh daya luaran dan daya masukan [3].

Tenaga listrik dari panel surya yang diterima rangkaian sistem modul pendingin termoelektrik mengakibatkan perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin setiap modul termoelektrik. Adapun temperatur yang dapat dicapai sisi-sisi panas dan sisi-sisi dingin setiap modul termoelektrik diperlihatkan pada Gambar 7 dibawah ini.

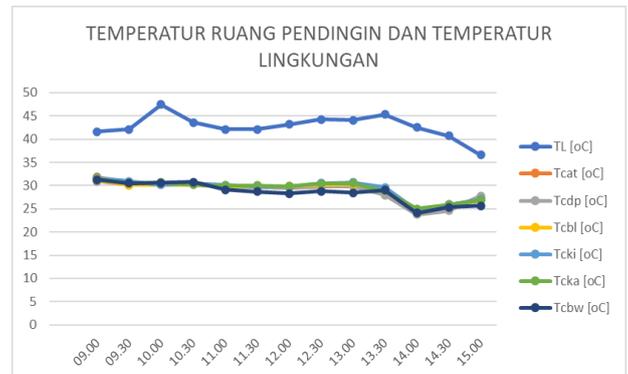


Gambar 7 Temperatur pada sistem termoelektrik (paralel)

Pada Gambar 7 di atas menunjukkan bahwa tidak ada kesesuaian dalam pola grafik temperatur lingkungan dengan temperatur sisi panas dan sisi dingin semua pasangan TEC-*heatsink*. Hal ini dapat dijelaskan bahwa sistem pendingin tidak dipengaruhi panas dari luar atau sangat kecil pengaruh panas luar terhadap ruang pendingin. Semua temperatur cenderung memiliki harga temperatur yang seragam.

Kondisi ini disebabkan temperatur sisi dingin hanya dipengaruhi oleh pasokan daya listrik yang masuk ke termoelektrik [3].

Sisi dingin setiap modul termoelektrik menyerap kalor dari ruang pendingin. Melalui *heatsink* yang menempel proses penyerapan kalor diperbesar distribusinya. Sementara kalor yang merambat pada materian modul termoelektrik secara konduksi dan kalor dibuang ke udara luar melalui sisi panas setiap modul termoelektrik. *Heatsink* mendistribusikan buangan kalor tersebut, sedangkan kipas memperbesar proses pembuangan kalor. Adanya kipas yang membuang kalor sebanyak-banyaknya, maka efeknya adalah semakin besar kalor yang dapat dihisap atau diserap dari ruang pendingin, sehingga ruang kotak pendingin menjadi semakin dingin. Temperatur yang dicapai sisi-sisi dinding ruang dan ruang tengah kotak pendingin yang dibandingkan dengan temperatur lingkungan ditunjukkan pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8 Temperatur ruang pendingin dan temperatur lingkungan

Pada Gambar diatas diperlihatkan bahwa temperatur semua sisi-sisi dalam sistem pendingin memiliki nilai yang cenerung homogen. Hal ini dapat dijelaskan bahwa temperatur ruang pendingin pada sisi-sisi dalamnya hanya dipengaruhi oleh temperatur sisi-sisi dingin termoelektrik yang distribusinya dibantu oleh *heatsink*.

Sementara pengubahan energi dalam ruang pendingin kotak pendingin, baik perpindahan panas konduksi dan perpindahan panas konveksi maupun penyerapan kalor pada sisi-sisi dingin semua modul termoelektrik 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:
 $Q = 73,467 \text{ W}$, dengan rata-rata kalor yang hilang setiap proses adalah $5,651 \text{ W}$.
2. Beban transmisi, ruang pendingin, yakni akibat adanya perpindahan kalor konduksi dan konveksi, sebesar:
 $Q_{\text{transmisi}} = 530,71 \text{ W}$, dengan rata-rata kalor yang di transmisi ke dinding dari waktu ke waktu adalah $40,824 \text{ W}$.
3. Koefisien kinerja (CoP) sistem pendingin sebesar:
 $1,33$.

5 SIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian sistem pendingin pada kotak pendingin berbasis pendingin termoelektrik yang sudah dilakukan, bahwa temperatur yang dicapai ruang pendingin terendah sebesar $22,2 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan koefisien kinerja pendingin (CoP) yang diperoleh sistem pendingin sebesar $1,33$.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] J. Hu, W. Chen, D. Yang, B. Zhao, H. Song, and B. Ge, "Energy performance of ETFE cushion roof integrated photovoltaic/thermal system on hot and cold days," *Appl. Energy*, vol. 173, pp. 40–51, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.03.111.
- [2] Y. H. Yau and K. S. Lim, "Energy analysis of green office buildings in the tropics - Photovoltaic system," *Energy Build.*, vol. 126, pp. 177–193, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.05.010.
- [3] R. Rifky and Y. Sirodz, "Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC)," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister ...*, vol. 10, no. 1, pp. 34–40, 2020, [Online]. Available: <http://103.75.102.195/index.php/teknobiz/article/view/1359>.
- [4] 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.
- [5] D. I. Saputra and A. Aziz, "Analisa Perpindahan Panas Kotak Pemanas Dan Pendingin Yang Menggunakan Modul Termoelektrik Sebagai Sumber Kalor," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 18, no. 1, p. 32, 2019, doi: 10.31258/jst.v18.n1.p32-37.
- [6] M. I. Rafiq, "Analisa Aliran Kalor Pada Sistem Pendingin Menggunakan Modul Termoelektrik Cooler Dengan Tipe Silinder," p. 6, 2021.
- [7] R. Harahap and Suherman, "Sistem Pendinginan Aktif Versus Pasif DiMeningkatkan Output Panel Surya," *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 5, no. 2, pp. 79–87, 2021.
- [8] Hendri, "Pengujian dan perhitungan beban panas pada kotak pendingin yang menggunakan elemen pendingin termoelektrik dengan sumber energi surya," 2015.
- [9] Rifky, A. Fikri, and M. Mujirudin, "Roofs and Walls of Buildings as a Media for Converting Solar Thermal Energy into Electrical Energy," *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 1, no. 1, 2021, doi: 10.21070/pels.v1i1.793.
- [10] W. K. Li, J. H. Chang, M. Amani, T. F. Yang, and W. M. Yan, "Experimental study on transient supercooling of two-stage thermoelectric cooler," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 14, no. May, p. 100509, 2019, doi: 10.1016/j.csite.2019.100509.
- [11] J. S. Sumbodo, M. R. Kirom, and P. Pangaribuan, "Efektivitas Pendingin Menggunakan Termoelektrik pada Panel Surya Effectiveness of Thermoelectric Cooling on Solar Panel," vol. 5, no. 3, pp. 3895–3902, 2018.
- [12] A. T. Agus 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.
- [13] A. Walujodjati, "Perpindahan Panas Konveksi Paksa," *J. Ilm. MOMENTUM*, vol. 2, no. 2, pp. 21–24, 2006.
- [14] A. R. P. Wahyudi, "Sistem Pendingin Thermo Electric Cooler (Tec) Berbasis Tenaga Surya," *J. Pembang. Wil. Kota*, no. 3, pp. 82–91, 2018.