

Desain dan Analisis Sistem Hybrid Panel Surya dan Termoelektrik

Wahyu^{1*}

¹Teknik Elektro Industri Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jl. Prof. Dr Hamka, Kampus UNP Air Tawar Padang 25131. Telp/Fax. (0751)7055644, 45998

*e-mail: silvermage76@gmail.com

(Diajukan: 23 Mei 2023, direvisi: 30 Mei 2023, disetujui: 5 Juni 2023)

Abstrak

Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi energi listrik panel surya adalah radiasi matahari, dan suhu. Energi yang dihasilkan oleh panel surya tidak maksimal dikarenakan kenaikan suhu yang berlebih pada jam 11.01 – 14.00. oleh karena itu termoelektrik merupakan komponen yang dapat menurunkan suhu panel surya. Selain itu, perlu juga alat monitoring berupa visual basic sebagai memantau kinerja panel surya dalam menghasilkan energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk melihat efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya dengan panel surya yang menggunakan termoelektrik. Metode yang digunakan adalah pengambilan data nilai tegangan, arus, daya, temperatur, dan cahaya matahari yang dihasilkan oleh panel surya dengan beberapa susunan termoelektrik generator dibawahnya. Susunan posisi termoelektrik yang digunakan pada bagian bawah panel surya yaitu simetris, campuran, dan linear. Hasil penelitian menunjukkan nilai efisiensi energi listrik yang dihasilkan pada susunan simetris, campuran, dan linear secara berurut adalah 0.29%, 0.37%, 0.21%. Sehingga posisi campuran memiliki hasil yang paling baik.

Kata Kunci: Termoelektrik Generator, *Visual Basic*, Panel Surya, *Hybrid*

Abstract

Some of the factors that affect the electrical energy efficiency of solar panels are solar radiation, and temperature. The energy produced by solar panels is not optimal due to excessive temperature increases at 11.01 – 14.00. Therefore, thermoelectricity is a component that can reduce the temperature of solar panels. In addition, it is also necessary to monitor the form of visual basic as a monitoring of the performance of solar panels in producing electrical energy. This study aims to see the efficiency produced by solar panels with solar panels that use thermoelectricity. The method used is to take data on the value of voltage, current, power, temperature, and sunlight produced by solar panels with several thermoelectric generator arrays underneath. The thermoelectric position arrangement used at the bottom of the solar panel is symmetrical, mixed, and linear. The results showed that the efficiency value of electrical energy produced in symmetric, mixed, and linear arrangements sequentially was 0.29%, 0.37%, 0.21%. So that the position of the mixture has the most favorable results.

Keywords: *Thermoelectric Generator, Visual Basic, Solar Panel, Hybrid*

PENDAHULUAN

Indonesia termasuk negara yang memiliki garis khatulistiwa sehingga terdapat berbagai ragam potensi alam sumber daya. Salah satu potensi tersebut memiliki cuaca panas dengan sinar matahari, aliran air, dan sumber daya alam lainnya yang bisa dijadikan sumber energi alternatif. Sumber energi listrik alternatif merupakan pendukung keberlangsungan energi dimasa depan. Saat ini Indonesia masih memanfaatkan ketersediaan batubara sebagai energi, semakin lama akan semakin menipis sehingga harus diimbangi dengan sumber energi listrik alternatif. Beberapa sumber energi alternatif yang sudah didirikan di beberapa daerah adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), dan masih banyak jenis-jenis pembangkit listrik yang lain. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) energi didapatkan saat adanya pancaran matahari [1].

Penggunaan sumber energi alternatif pada saat ini mengalami peningkatan, sehingga memotivasi peneliti untuk melakukan penelitian di bidang sumber energi terbarukan yang tersedia di alam, salah satunya di bidang energi surya. Energi surya menjadi alternatif energi ramah lingkungan, bebas polutan dan dapat menjadi salah satu energi masa depan [2]. Energi surya ini memanfaatkan sistem solar *Photovoltaic* (PV) yang dimana energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik [3][4]. Sistem PV ini bekerja sesuai dengan beberapa faktor seperti penyinaran matahari, suhu, partial shading, potensi degradasi yang diinduksi, dan lain-lain [5].

Pada saat penggunaan teknologi panel surya, siang hari merupakan waktu yang terbaik untuk mendapatkan energi karena matahari berada pada posisi terpanas. Penggunaan panel surya sangat cocok untuk daerah yang panas tetapi ketika panel tersebut terlalu panas, energi yang didapat kurang maksimal. Kenaikan suhu pada panel surya juga berpengaruh pada efisiensi listrik panel surya [6]. Untuk memperoleh peningkatan produksi energi listrik panel surya, maka dibutuhkanlah sebuah alat yang dapat menurunkan suhu pada panel surya di siang hari dengan menggunakan Termoelektrik Generator (TEG). TEG merupakan komponen semikonduktor yang dapat menghasilkan tegangan dan arus listrik secara langsung dengan memanfaatkan perbedaan temperatur [7].

Studi mengenai panel surya sudah banyak diteliti sebelumnya. Pada tugas akhir [8] dengan judul Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp Akibat Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Angin terdapat energi yang didapatkan kurang maksimal ketika kondisi panel dalam keadaan panas yang berlebih. Untuk itu penulis menggunakan termoelektrik sebagai media dalam menurunkan suhu panas panel surya.

Untuk melihat kinerja yang dihasilkan oleh panel surya secara optimal maka diperlukan suatu sistem monitoring yang handal dan akurat dalam memantau parameter listrik dan kondisi lingkungan [9]. Dalam penelitian ini penulis menggunakan *visual basic* sebagai monitoring untuk memudahkan dalam menganalisis nilai data yang dihasilkan oleh *hybrid* panel surya dan termoelektrik.

Panel Surya

Panel surya atau *photovoltaic* merupakan alat yang tersusun dari material semikonduktor yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung. Teknologi Panel Surya (PS) digunakan untuk mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik.

Termoelektrik

Termoelektrik merupakan alat yang digunakan untuk mengkonversi langsung dari suatu perbedaan temperatur menjadi tegangan listrik atau sebaliknya [10-12]. Elemen termoelektrik terdiri dari semikonduktor tipe N dan tipe P yang bagian atas dan bawah dilapisi dengan konduktor tembaga sebagai penghubung satu sama lain antara tipe N dan tipe P [13]. Berikut ini adalah spesifikasi dari modul termoelektrik TEC1 12706 [14]:



Gambar 1. Termoelektrik

1. Ukuran sisi 40 mm x 40 mm dengan tebal 3,8 mm.
2. Arus listrik maksimal yang diperbolehkan (I_{maks}) sebesar 6 Ampere.
3. Tegangan listrik maksimal yang diperbolehkan (V_{maks}) sebesar 14,4 Volt.
4. Temperatur maksimal dalam penggunaannya sebesar 138 °C.

Efisiensi

Efisiensi merupakan parameter penting dalam melihat suatu produktivitas energi listrik yang dihasilkan oleh perangkat panel surya dan termoelektrik generator [8].

$$\eta_a = \frac{V_a \times I_a \times FF}{I_r \times A} \times 100\% \quad (1)$$

$$\eta_b = \frac{V_b \times I_b \times FF}{I_r \times A} \times 100\% \quad (2)$$

$$\eta_t = \eta_b - \eta_a \quad (3)$$

Keterangan :

η_a = Efisiensi PS

η_b = Efisiensi PS dan TEG

η_t = Efisiensi Total

V_a = Tegangan rata – rata PS

V_b = Tegangan rata- rata PS dan TEG

I_a = Arus rata – rata PS

I_b = Arus rata – rata PS dan TEG

FF = *Fill Factor*

I_r = Radiasi Matahari rata – rata

A = Luas Penampang Panel

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (4)$$

Keterangan :

V_{mp} = Tegangan Maximum

I_{mp} = Arus Maximum

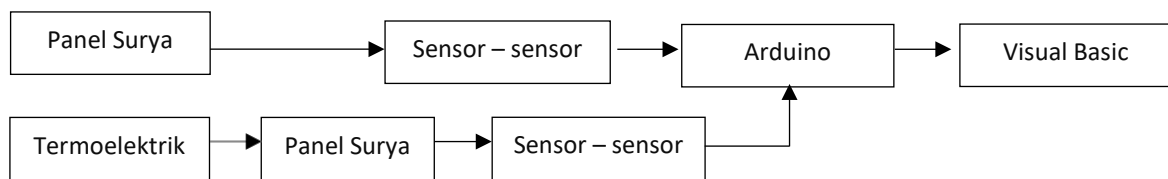
V_{oc} = Tegangan Rangkaian Terbuka

I_{sc} = Arus Hubung Singkat

METODE PENELITIAN

Analisa Sistem

Dalam penelitian ini termoelektrik yang digunakan adalah termoelektrik dengan prinsip kerja jenis termoelektrik generator (TEG) yaitu menghasilkan tenaga listrik. Selain menurunkan suhu pada panel surya, termoelektrik juga menghasilkan energi listrik sehingga nilai energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya lebih besar. Ada 3 susunan posisi termoelektrik yang akan di pasang bagian bawah panel surya diantaranya posisi simetris, campuran, dan linear. TEG dirangkai secara seri terhadap panel surya. Kabel output dari termoelektrik dihubungkan ke panel surya kemudian terhubung ke sensor – sensor (sensor tegangan, sensor arus, sensor suhu, dan sensor cahaya) sehingga nilai dari sensor tersebut dapat di proses oleh arduino untuk di tampilkan ke *visual basic* seperti gambar 2. Dalam penelitian ini menggunakan 2 panel surya dengan perbedaan salah satu panel surya dirangkai seri dengan termoelektrik.



Gambar 2. Blok Diagram *Hybrid* Panel Surya Dan Termoelektrik

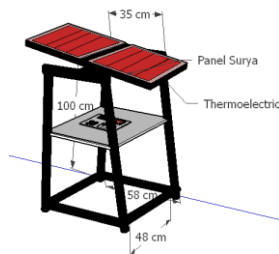
Dalam hal ini diperlukan *visual basic* sebagai alat monitoring dalam memantau energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya berupa nilai tegangan, arus, daya, suhu, dan radiasi matahari untuk memudahkan dalam menganalisa data yang di dapatkan seperti gambar 3. Pengambilan data dilakukan secara *realtime* dengan interval waktu pengambilan satu kali 10 menit yang dimulai dari pukul 09.00 – 16.00.



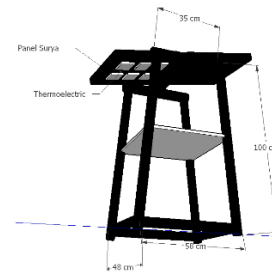
Gambar 3. Tampilan Monitoring *Hybrid* Panel Surya Dan Termoelektrik

Desain *Hardware*

Prototipe panel surya di desain dengan menggunakan *software sketch up 2016*. Detail desain prototipe tergambar pada gambar 4 yang terdiri komponen elektronik seperti Arduino dan sensor – sensor serta memiliki 2 panel surya dengan perbedaan salah satu panel surya dirangkai seri dengan termoelektrik seperti gambar 5.



Gambar 4. Desain Panel Surya Tampak Samping



Gambar 5. Desain Panel Surya Tampak Bawah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Gambar 6 merupakan model dari prototipe *hybrid* panel surya dan termoelektrik. Terdapat 3 model prototipe panel surya dengan perbedaan yang terletak pada posisi termoelektrik dibawah panel surya. Masing – masing prototipe dipasang 6 buah komponen termoelektrik. Gambar 7, 8, dan 9 merupakan posisi termoelektrik dengan susunan simetris, campuran dan linear.



Gambar 6. Hybrid Panel Surya Dan Termoelektrik



Gambar 7. Rangkaian Seri TEG Dengan Posisi Simetris



Gambar 8. Rangkaian Seri TEG Dengan Posisi Campuran



Gambar 9. Rangkaian Seri TEG Dengan Posisi Linear

Gambar 10, 11, dan 12 merupakan tampilan *visual basic* dalam monitoring data yang dihasilkan oleh *hybrid* panel surya dan termoelektrik dengan urutan data susunan TEG secara simetris, campuran, dan linear.



Gambar 10. Monitoring *Hybrid* Panel Surya Dan Termoelektrik Posisi Simetris



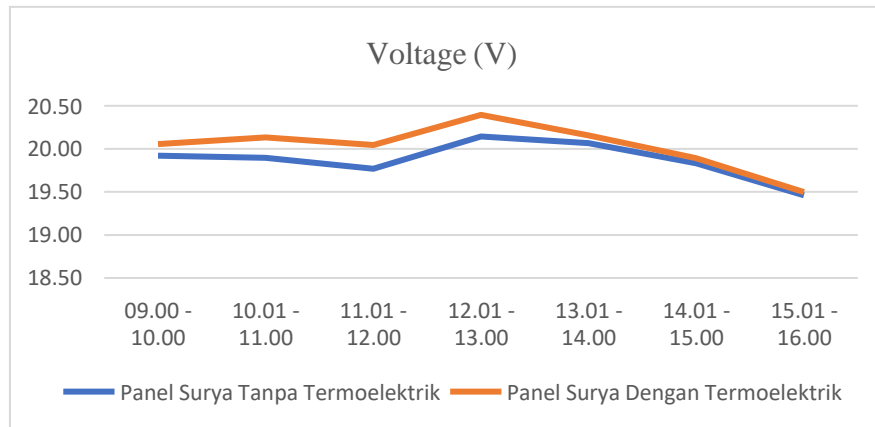
Gambar 11. Monitoring *Hybrid* Panel Surya Dan Termoelektrik Posisi Campuran



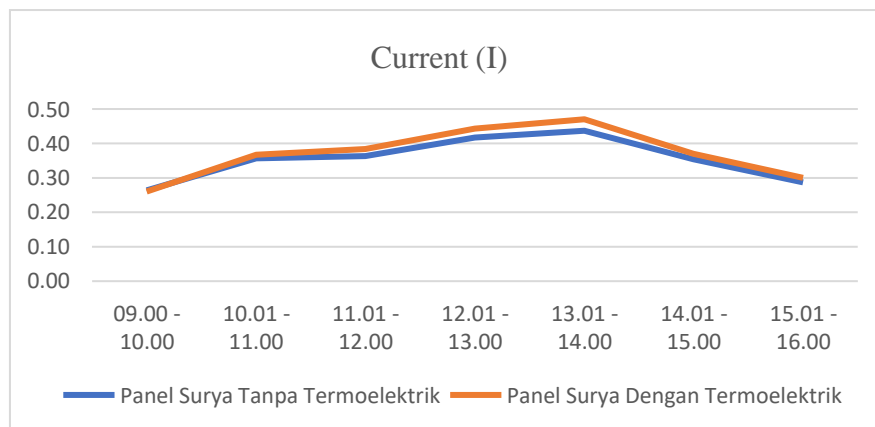
Gambar 12. Monitoring *Hybrid* Panel Surya Dan Termoelektrik Posisi Linear

Pembahasan

Gambar 13 dibuat berdasarkan data monitoring gambar 10. Berdasarkan gambar 13 terlihat nilai tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dengan panel surya yang menggunakan TEG tidak berbeda jauh pada pukul 15.01 – 16.00. Namun hasil dari penelitian ini meli­hatkan bahwa nilai tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dengan TEG lebih tinggi dari pada panel surya tanpa TEG.



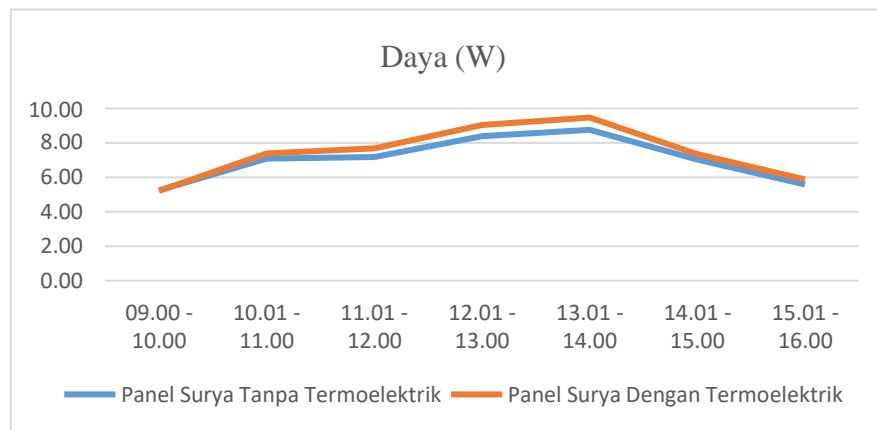
Gambar 13. Grafik Tegangan Listrik Yang Dihasilkan



Gambar 14. Grafik Arus Listrik Yang Dihasilkan

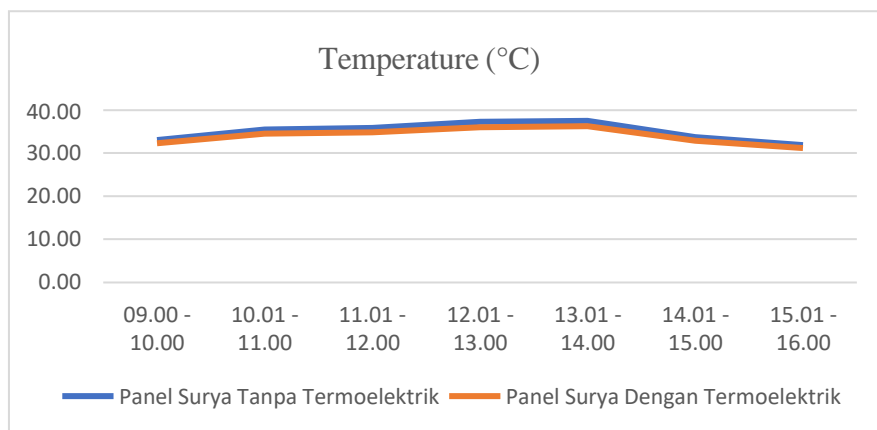
Pada pukul 13.01 – 14,00, gambar 14 menunjukkan grafik tertinggi nilai arus yang dihasilkan panel surya tanpa termoelektrik sebesar 0,44 A dan panel surya dengan termoelektrik sebesar 0,47 A. Sedangkan pada awal pengambilan data sekitar pukul 09.00 – 10.00, nilai arus yang dihasilkan panel surya tanpa termoelektrik dan panel surya dengan termoelektrik sebesar 0,26 A. Hal ini dikarenakan beberapa faktor seperti suhu dan radiasi matahari.

Gambar 15 menampilkan grafik perbedaan daya yang terjadi pada panel surya tanpa termoelektrik dan panel surya dengan termoelektrik. Hasilnya nilai daya panel surya dengan termoelektrik lebih tinggi dibanding dengan panel surya tanpa termoelektrik. Pada pukul 13.01 – 14.00 nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya dengan termoelektrik hampir mencapai nilai maksimum daya panel surya yaitu 10 W.



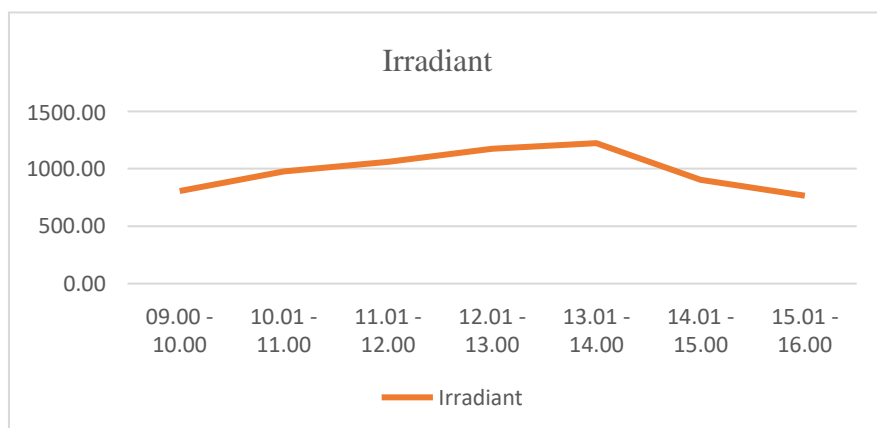
Gambar 15. Grafik Daya Listrik Yang Dihasilkan

Seperti yang dilihat gambar 16, pada awal pengambilan data pukul 09.00 sensor DHT11 menunjukkan suhu 33,07°C terhadap panel surya tanpa termoelektrik dan 32,33 °C panel surya dengan termoelektrik. Kenaikan dan penurunan temperatur disebabkan oleh keadaan cuaca. Hal tersebut sangat berpengaruh pada efisiensi panel surya.



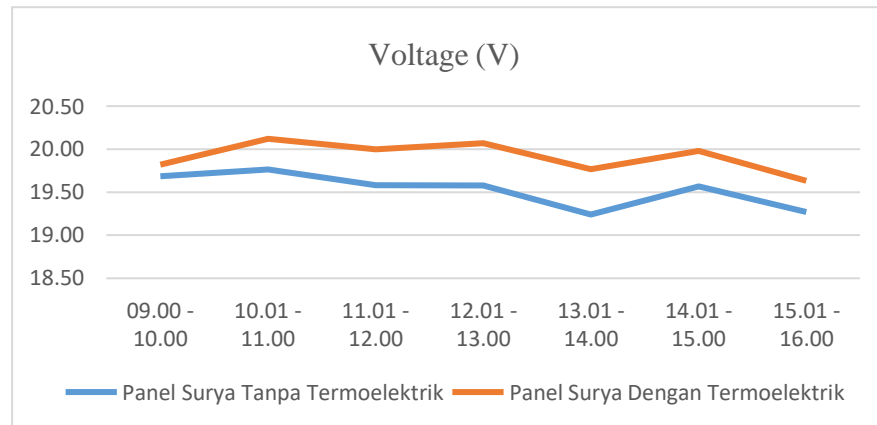
Gambar 16. Grafik Temperatur Kedua Panel Surya

Seperti yang dilihat pada gambar 17 radiasi matahari yang dihasilkan sensor BH1750 menunjukkan nilai maksimal 1223,17 pada pukul 13.01 – 14.00 dan 764,86 pada pukul 15.01 – 16.00 sebagai nilai terendah. Hal ini disebabkan oleh cuaca dan awan.

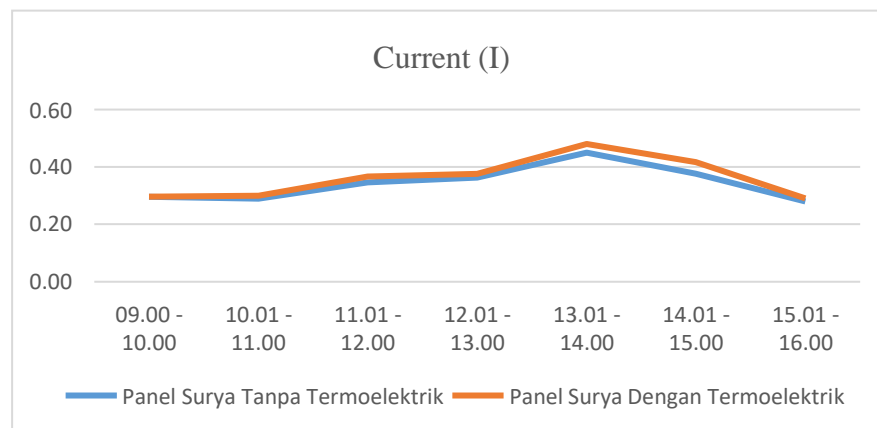


Gambar 17. Grafik Radiasi Matahari

Gambar 18 dibuat berdasarkan hasil monitoring gambar 11. Berdasarkan gambar 18 terlihat nilai tegangan yang dihasilkan pada pukul 10.01 – 11.00 oleh panel surya tanpa termoelektrik sebesar 19,76 V dan panel surya dengan termoelektrik sebesar 20,12 V. Adanya perbedaan sebesar 0,36 V dikarenakan oleh radiasi matahari serta temperatur.

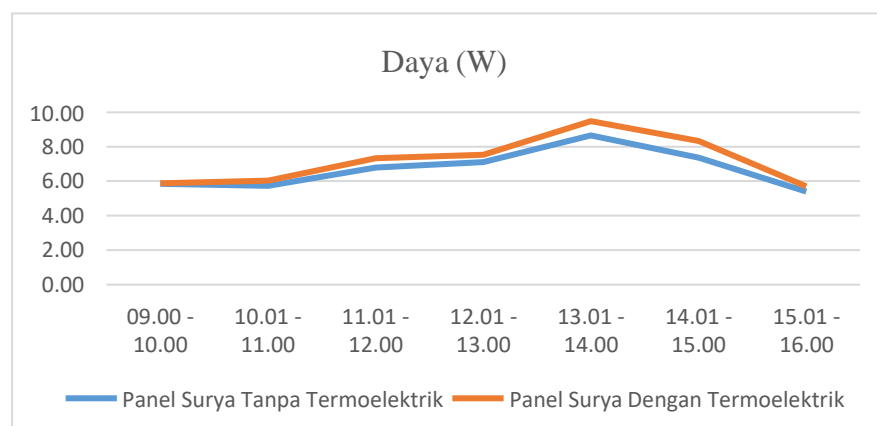


Gambar 18. Grafik Tegangan Listrik Yang Dihasilkan



Gambar 19. Grafik Arus Listrik Yang Dihasilkan

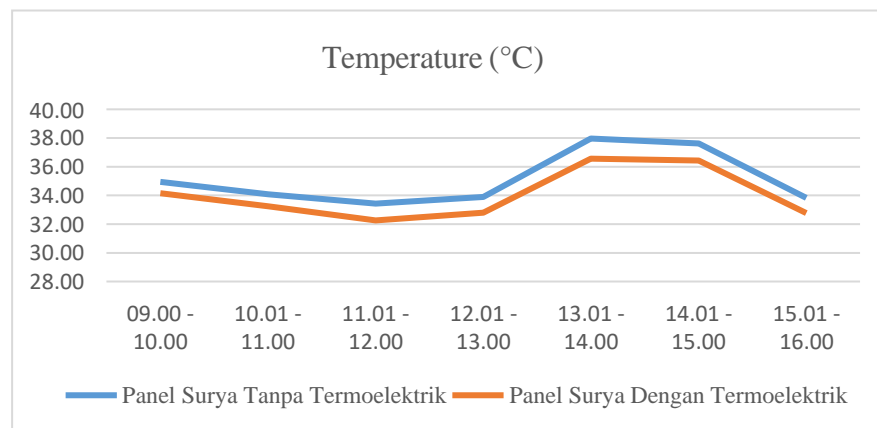
Dapat dilihat pada gambar 19 nilai arus yang diperoleh pada pukul 13.01 – 14.00 merupakan nilai arus maksimal yang dihasilkan oleh panel surya dengan termoelektrik. Namun nilai tegangan pada gambar 18 mengalami penurunan, hal ini disebabkan oleh radiasi matahari dan temperatur. Jika semakin panas matahari, maka nilai arus yang dihasilkan oleh panel surya semakin tinggi dan nilai tegangan menjadi menurun.



Gambar 20. Grafik Daya Listrik Yang Dihasilkan

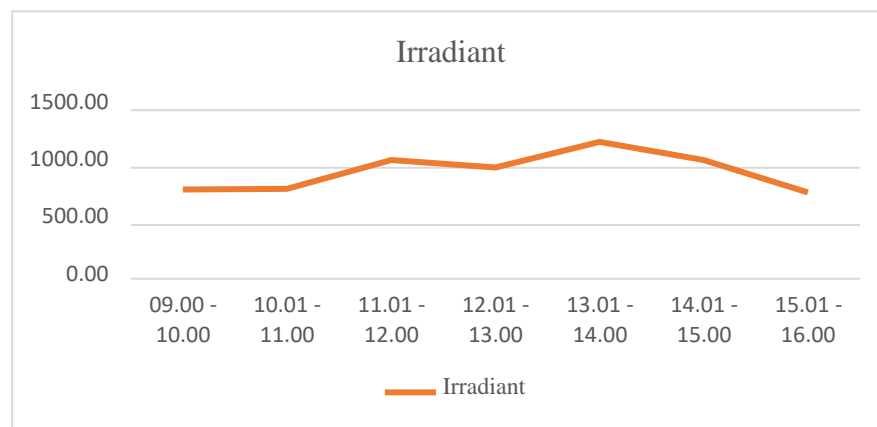
Gambar 20 menampilkan grafik perbedaan daya yang terjadi pada panel surya tanpa termoelektrik dan panel surya dengan termoelektrik. Hasilnya nilai daya panel surya dengan termoelektrik lebih tinggi sebesar 9,49 W dibanding dengan panel surya tanpa termoelektrik sebesar 8,66 W. Hal ini disebabkan oleh nilai tegangan dan nilai arus yang dihasilkan.

Seperti yang dilihat gambar 21, pada awal pengambilan data pukul 09.00 sensor DHT11 menunjukkan suhu 34,95°C terhadap panel surya tanpa termoelektrik dan 34,16 °C panel surya dengan termoelektrik. Kemudian diakhir pengambilan data pukul 16.00 menunjukkan 33,82°C untuk panel surya tanpa termoelektrik dan 32,78°C panel surya dengan termoelektrik. Kenaikan dan penurunan temperatur disebabkan oleh keadaan cuaca, hal tersebut sangat berpengaruh pada efisiensi panel surya.



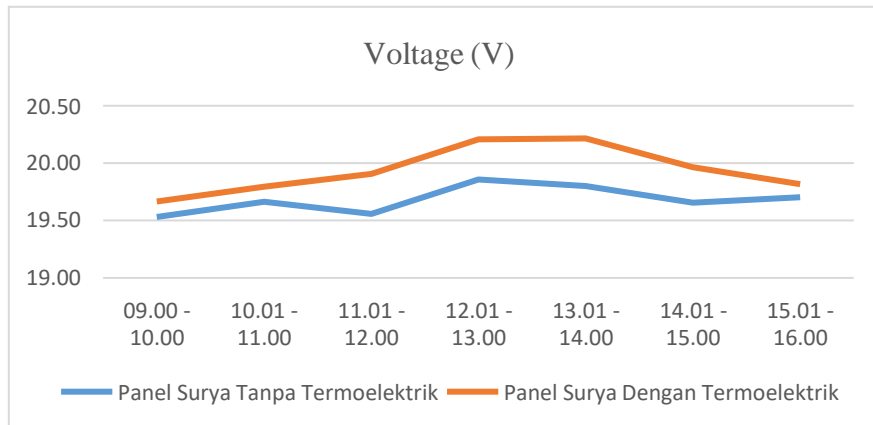
Gambar 21. Grafik Temperatur Kedua Panel Surya

Seperti yang dilihat pada gambar 22 nilai radiasi matahari yang dihasilkan sensor BH1750 menunjukkan nilai maksimal 1224,30 pada pukul 13.01 – 14.00 dan 784,14 pada pukul 15.01 – 16.00 sebagai nilai terendah. Hal ini disebabkan oleh faktor cuaca.

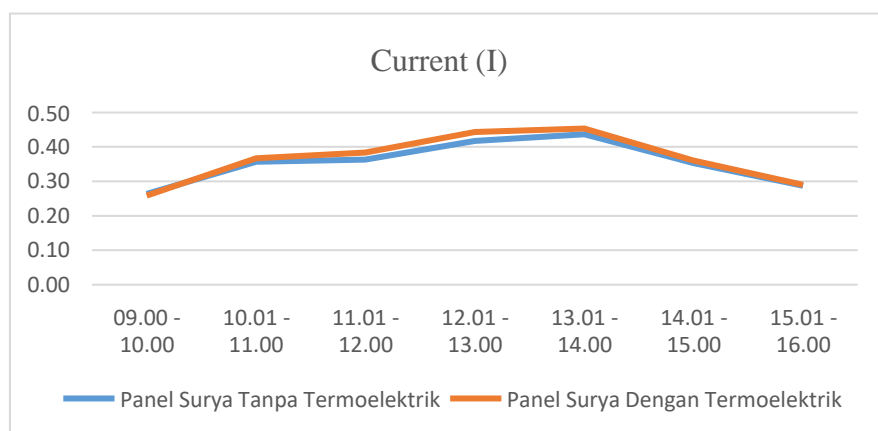


Gambar 22. Grafik Radiasi Matahari

Gambar 23 dibuat berdasarkan gambar 12. Berdasarkan gambar 23 terlihat nilai tegangan yang dihasilkan pada pukul 12.01 – 13.00 oleh panel surya tanpa termoelektrik sebesar 20,21 V dan panel surya dengan termoelektrik sebesar 19,86 V. Adanya perbedaan sebesar 0,35 V dikarenakan kemampuan termoelektrik dalam menyerap panas panel surya serta radiasi matahari dan temperatur.

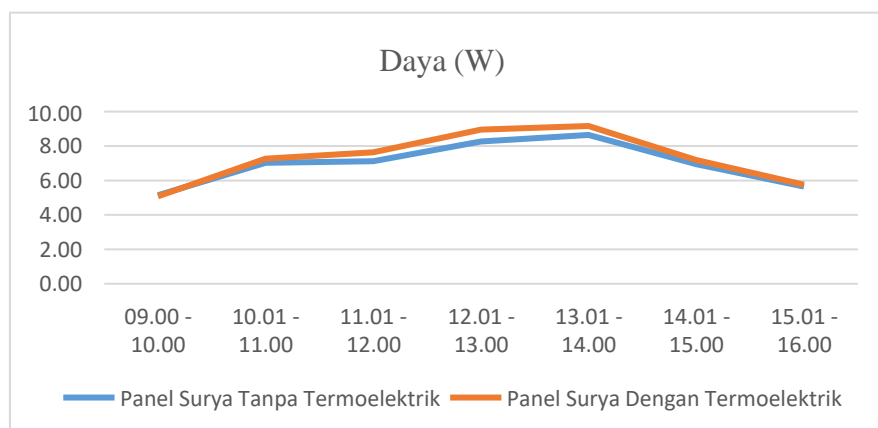


Gambar 23. Grafik Tegangan Listrik Yang Dihasilkan

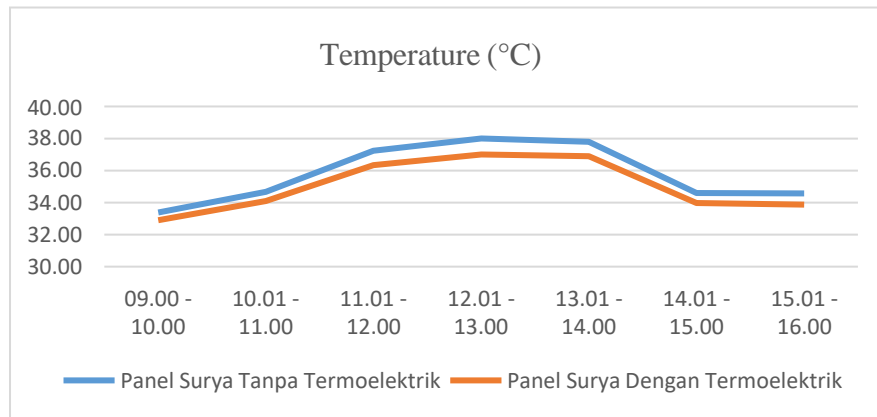


Gambar 24. Grafik Arus Listrik Yang Dihasilkan

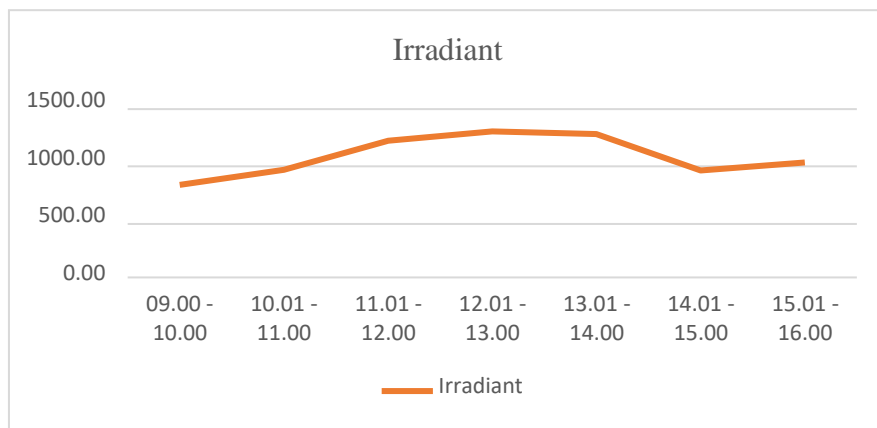
Pada pukul 13.01 – 14,00, gambar 24 menunjukkan grafik tertinggi nilai arus yang dihasilkan panel surya tanpa termoelektrik sebesar 0,44 A dan panel surya dengan termoelektrik sebesar 0,45 A. Hal ini dikarenakan faktor penurunan atau kenaikan temperatur serta radiasi matahari. Seperti yang dilihat pada gambar 25 menunjukkan nilai daya maksimum diperoleh pada pukul 13.01-14.00 sebesar 9,16 W oleh panel surya dengan termoelektrik. Sedangkan panel surya tanpa termoelektrik menghasilkan daya sebesar 8,65. Adanya nilai perbedaan ini disebabkan oleh nilai tegangan dan arus.



Gambar 25. Grafik Daya Listrik Yang Dihasilkan

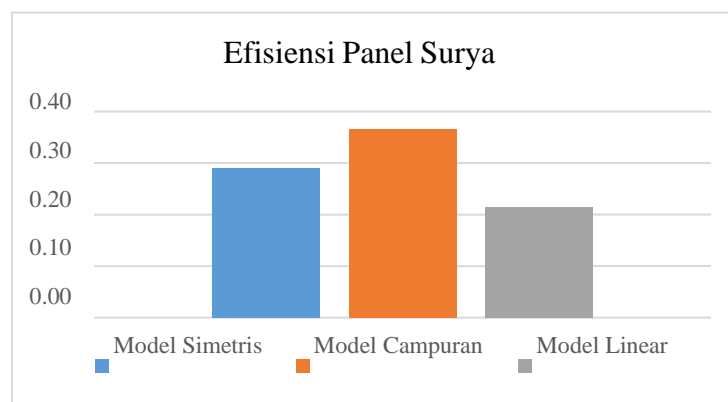


Gambar 26. Grafik Temperatur Kedua Panel Surya



Gambar 27. Grafik Radiasi Matahari

Pada pukul 12.01 – 13.00 dapat dilihat pada gambar 26 terdapat perbedaan nilai temperatur yang cukup besar antara kedua panel surya. Sedangkan pada pukul 09.00 – 10.00 tidak terlalu berbeda nilai temperatur antar kedua panel. Hal ini disebabkan oleh nilai radiasi matahari masih rendah seperti gambar 27 serta kemampuan termoelektrik dalam menyerap panas panel surya. Proses pendinginan pada TEG dilakukan secara alami, dengan memanfaatkan fluida udara yang mengalir di bagian bawah panel surya. Perpindahan panas yang terjadi secara konveksi [13].



Gambar 28. Grafik Efisiensi Panel Surya Dan Termoelektrik

Berdasarkan persamaan 3 terhadap gambar 10 model simetris, didapatkan nilai efisiensi panel surya sebesar 0,29% seperti pada gambar 28. Pada gambar 11 dengan

menggunakan persamaan 3 didapatkan nilai efisiensi sebesar 0,37% dan pada gambar 12 sebesar 0,21%. Sehingga didapatkan nilai efisiensi tertinggi diperoleh oleh rangkaian panel dan termoelektrik dengan posisi campuran seperti yang terlihat gambar 8 dan hasil monitoring pada gambar 11. Hal ini di pengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya faktor radiasi matahari serta faktor suhu. Penurunan suhu yang paling rendah dapat meningkatkan efisiensi panel surya [15]. Semakin banyak TEG yang menumpuk di satu titik maka pada titik tersebut juga dapat menurunkan suhu secara cepat sehingga meningkatkan efisiensi panel surya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian didapatkan perbedaan temperatur mempengaruhi besarnya tegangan listrik yang dihasilkan oleh termoelektrik. Tegangan listrik maksimal didapatkan pada pukul 11.01 – 14.00, karena pada saat itu posisi matahari tegak lurus. Akibatnya panas matahari yang terpancar dapat diserap secara maksimal. Efisiensi yang dihasilkan oleh Posisi TEG secara simetris sebesar 0,29%, posisi campuran sebesar 0,37%, dan posisi linear sebesar 0,21%. Dari penelitian ini didapatkan pengaruh posisi termoelektrik generator dapat mempengaruhi temperatur pada panel surya. Semakin rendah suhu panel surya maka semakin bagus nilai tegangan dan arus yang dihasilkan.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, untuk penelitian selanjutnya perlu menambahkan pendingin (*cooler*) pada bagian sisi dingin termoelektrik. Sehingga akan terjadi perbedaan temperatur yang tinggi dan menghasilkan nilai tegangan dan arus lebih besar nantinya.

REFERENSI

- [1] D. A. Wicaksono, F. Fitriana, S. Ariyani, R. Nurwahyudin, and F. A. Ajie, "Peningkatan Efisiensi Panel Surya pada Instalasi Rooftop berbasis Internet Of Things (IoT)," *J. Tek. Elektro dan Komputasi*, vol. 3, no. 2, pp. 104–110, 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/ELKOM/article/view/5869>.
- [2] G. R. Cahyono, P. R. Ansyah, and M. Munthaha, "Pengaruh Variasi Kecepatan Hembusan Udara Terhadap Temperatur, Daya Output dan Efisiensi Pada Pendinginan Panel Surya," *Infotekmesin*, vol. 11, no. 2, pp. 141–146, 2020, doi: 10.35970/infotekmesin.v11i2.259.
- [3] P. R. Satpathy, S. Jena, B. Jena, and R. Sharma, "Comparative study of interconnection schemes of modules in solar PV array network," *Proc. IEEE Int. Conf. Circuit, Power Comput. Technol. ICCPCT 2017*, no. May, 2017, doi: 10.1109/ICCPCT.2017.8074185.
- [4] K. Lappalainen, A. Mäki, and S. Valkealahti, "Effects of the Sharpness of Shadows on the Mismatch Losses of PV Generators Under Partial Shading Conditions Caused by Moving Clouds," *28th Eur. Photovolt. Sol. Energy Conf. Exhib.*, no. c, pp. 4081–4086, 2013.
- [5] H. Hazman and A. Asnil, "Measurement of I-V and P-V Characteristics of Solar Panels Under Partial Shading Conditions," *Motiv. J. Mech. Electr.*

- Ind. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 99–114, 2022, doi: 10.46574/motivecton.v4i2.116.
- [6] N. Alim, A. A. H. Lateko, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. Muhammadiyah, “ANALISIS PENGARUH SUHU KERJA PADAPANEL,” vol. 15, pp. 32–39, 2023.
- [7] M. Taufiqurrahman, G. S. Lubis, M. Ivanto, and P. Setio, “Kaji Eksperimen Output Energi Termoelektrik TEG-SP1848-27145SA Dengan Sumber Panas Dari Solar Parabolic Trough,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 6, no. 1, p. 13, 2021, doi: 10.30588/jeemm.v6i1.927.
- [8] D. Dahliya, S. Samsurizal, and N. Pasra, “Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp Akibat Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Angin,” *Sutet*, vol. 11, no. 2, pp. 71–80, 2021, doi: 10.33322/sutet.v11i2.1551.
- [9] A. Pakradiga and S. Suryono, “Sistem Sensor Nirkabel Untuk Monitoring Efisiensi Panel Surya,” *Berk. Fis.*, vol. 22, no. 2, pp. 77–85, 2019.
- [10] M. Khalid, M. Syukri, and M. Gapy, “Pemanfaatan Energi Panas Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Dengan Menggunakan Termoelektrik,” *Karya Ilm. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 3, pp. 57–62, 2016.
- [11] A. Trisasmitta and C. Rangkuti, “Potensi Pemanfaatan Sumber Panas Pada Combustion Chamber Turbin Gas Dengan Menggunakan Termoelektrik Generator,” *Semin. Nas. Cendekiawan ke*, vol. 3, pp. 7–14, 2017.
- [12] M. Latif, N. Hayati, and U. G. S. Dinata, “Potensi Energi Listrik Pada Gas Buang Sepeda Motor,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 11, no. 5, p. 163, 2015, doi: 10.17529/jre.v11i5.2957.
- [13] A. Saputra, R. Lapisa, R. Refdinal, and S. Rizki Putri Primandari, “Analysis of the Effect of a Glass Layer on the Roof of a House of a Thermoelectric Generator on Temperature and Electrical Voltage,” *Motiv. J. Mech. Electr. Ind. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 87–98, 2022, doi: 10.46574/motivecton.v4i2.115.
- [14] A. E. Putra, R. Rifky, and A. Fikri, “Pemanfaatan Panas Buang Atap Seng dengan Menggunakan Generator Termoelektrik sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan,” *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 3, no. 2502, p. 38, 2019, doi: 10.22236/teknoka.v3i0.2911.
- [15] M. Schmidt, I. Astrouski, M. Reppich, and M. Raudensky, “Solar panel cooling system with hollow fibres,” *Appl. Sol. Energy (English Transl. Geliotekhnika)*, vol. 52, no. 2, pp. 86–92, 2016, doi: 10.3103/S0003701X16020213.