

ANALISIS PERFORMA PEMBANGKIT LISTRIK PANAS MATAHARI MENGUNAKAN GENERATOR TERMoeLEKTRIK

Faris Abdurrasyid^{1*)}, Margianto², Nur Robbi³

^{1*)}Universitas Islam Malang.

email: abdurrasyidfaris18@gmail.com

²Universitas Islam Malang.

email: margianto@unisma.ac.id

³Universitas Islam Malang.

email: nurrobby@unisma.ac.id

ABSTRACT

In Indonesia, non-renewable fossil fuels are used to produce electrical energy which has the potential to impact the environment. Renewable energy is needed as an energy source to reduce consumption of fossil fuels. Solar thermal is one of the abundant energy sources in Indonesia, and thermoelectric generators can be used to make use of it. A thermoelectric generator can generate electricity from the sun's abundant heat energy and does not damage the environment by using a solar collector on the hot side and a heatsink on the cold side. This study aims to determine the performance of thermoelectric generators, heatsinks, solar collectors and the overall efficiency of the device. The findings of this study indicate that the energy output obtained by the collector due to variations in the sun affects the efficiency of the solar collector on the hot side of the thermoelectric generator. The efficiency of a heatsink located on the cold side of a thermoelectric generator is inversely proportional to its base heat value. The value of the temperature difference on the hot and cold sides of the thermoelectric generator fluctuates, which affects the efficiency value of the thermoelectric generator, while the useful energy and power produced by the thermoelectric generator can affect the efficiency of the system as a whole.

Keywords: Thermoelectric Generator, Solar Collector, Heatsink, Electrical Energy, Sun

ABSTRAK

Di Indonesia, bahan bakar fosil yang tidak terbarukan digunakan untuk menghasilkan energi listrik yang berpotensi memberikan pengaruh terhadap lingkungan. Energi baru terbarukan diperlukan sebagai sumber energi untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil. Panas matahari adalah salah satu sumber energi yang melimpah di Indonesia, dan generator termoelektrik dapat digunakan untuk memanfaatkannya. Generator termoelektrik dapat menghasilkan listrik dari energi panas matahari yang melimpah dan tidak merusak lingkungan dengan menggunakan kolektor surya di sisi panas dan *heatsink* di sisi dingin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi generator termoelektrik, *heatsink*, kolektor surya dan efisiensi keseluruhan alat. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa keluaran energi yang diperoleh kolektor akibat variasi matahari mempengaruhi efisiensi kolektor surya pada sisi panas generator termoelektrik. Efisiensi *heatsink* yang terletak di sisi dingin generator termoelektrik berbanding terbalik dengan nilai panas dasarnya. Nilai perbedaan suhu pada sisi panas dan dingin generator termoelektrik berfluktuasi, yang mempengaruhi nilai efisiensi pada generator termoelektrik, sedangkan energi dan daya berguna yang dihasilkan oleh generator termoelektrik dapat mempengaruhi efisiensi sistem secara keseluruhan.

Kata Kunci: *Generator termoelektrik; Kolektor Surya; Heatsink; Energi listrik; Matahari*

PENDAHULUAN

Hampir semua peralatan rumah tangga menggunakan energi listrik kebutuhan masyarakat akan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari semakin meningkat seiring berjalannya waktu. Meskipun pasokan listrik saat ini terbatas kebutuhan listrik terus meningkat dari tahun ke tahun. Dibandingkan dengan negara ASEAN lainnya Indonesia memiliki salah satu tingkat elektrifikasi terendah sebesar (71,2%) dan menyisakan 28,8% populasi tanpa akses listrik, dimana negara ASEAN lainnya seperti Singapura memiliki tingkat elektrifikasi 100%, Malaysia memiliki tingkat elektrifikasi 85%, dan Brunei memiliki tingkat elektrifikasi 85% [1]. Saat ini terjadi kelangkaan listrik di beberapa wilayah Indonesia karena keterbatasan pasokan listrik dan letak geografis yang masih sulit diakses.

Di Indonesia 86,95 persen energi listrik masih berasal dari bahan bakar fosil pada tahun 2020, turun dari 88,73 persen pada tahun 2019 [2]. Bahan bakar fosil, di sisi lain, bukan sumber energi terbarukan dan memiliki efek negatif terhadap lingkungan, termasuk hujan asam, pemanasan global, dan masalah lainnya [3]. Karena energi terbarukan dihasilkan melalui proses alami yang ramah lingkungan, maka penggunaan energi tersebut dapat membantu mengurangi kebutuhan akan bahan bakar fosil [4]. Sebagai sumber energi baru yang dapat diperbarui, energi surya kini dianggap sebagai pilihan terbesar [5].

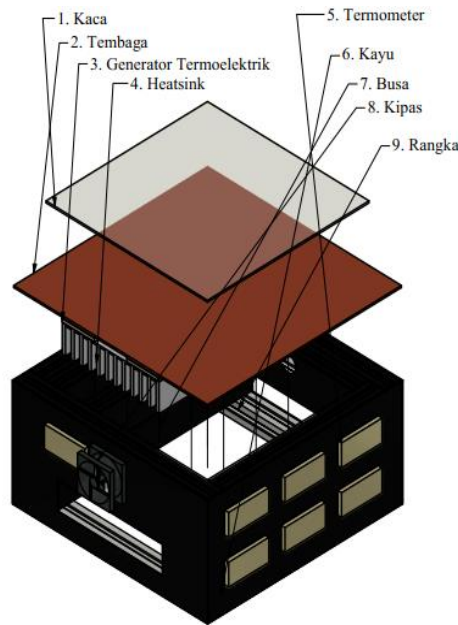
Secara geografis Indonesia terletak di garis khatulistiwa yang berarti mempunyai cukup sinar matahari sepanjang hari selama 10 sampai 12 jam [6]. Menggunakan kolektor surya adalah salah satu teknik untuk memanfaatkan energi matahari, kolektor surya bekerja Ketika sinar matahari mengenai pelat penyerap di dalam kolektor sebagian cahaya diserap dan diubah menjadi energi panas yang kemudian dimanfaatkan untuk menghangatkan fluida yang mengalir [7]. Selain memanaskan cairan, kita dapat menggunakan generator termoelektrik (TEG) untuk mengubah energi panas dari matahari yang ditangkap oleh kolektor surya menjadi listrik [8].

Generator termoelektrik merupakan modul padat atau tidak memiliki komponen yang bergerak atau berisik sama sekali [9]. Efek Seebeck menjadi dasar bagaimana generator termoelektrik berfungsi sebagai pembangkit listrik dan menghasilkan energi dari perbedaan suhu ini. Tegangan yang dihasilkan akan meningkat dengan meningkatnya perbedaan suhu [10]. Modul termoelektrik terdiri dari dua substrat keramik dan semikonduktor dengan kelebihan elektron bebas (semikonduktor tipe-n) dan kekurangan elektron (semikonduktor tipe-p) [11]. Generator termoelektrik relatif kecil menggunakan dua kabel hitam dan dua kabel merah untuk mengalirkan listrik dari perbedaan suhu generator termoelektrik dan arus searah (DC) adalah arus listrik yang dihasilkan [12].

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen langsung untuk mengetahuinya, penelitian ini menggunakan alat pembangkit listrik panas matahari yang terdiri dari kolektor surya pada sisi panas dan *heatsink* pada sisi dingin dari generator termoelektrik. Kolektor surya digunakan untuk menangkap panas dari matahari dan *heatsink* bertujuan untuk melepas panas agar menghasilkan perbedaan suhu. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar efisiensi kolektor surya, efisiensi *heatsink*, efisiensi generator termoelektrik dan efisiensi total peralatan yang dilakukan pada tanggal 1 Mei sampai 6 Mei pada pukul 10:00 sampai 14:00 WIB yang dilakukan di gedung Al-Asy'ari Universitas Islam Malang.

1. Desain Alat Pembangkit Listrik Panas Matahari



Gambar 1. Alat Pembangkit Listrik Panas Matahari

Spesifikasi alat pembangkit listrik panas matahari

Kaca: 20 cm x 20 cm dengan tebal 3 mm

Kayu: tebal 2 mm

Tembaga: 20 cm x 20 cm dengan tebal 1 mm

Busa: tebal 2 cm

Generator Termoelektrik: 10 buah

Kipas: 1 buah

Heatsink: 20 cm x 12 cm

Rangka: alumunium *profile T slot*

Termometer digital: 6 buah

2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- | | |
|------------------------------------|----------------------------|
| a. Termometer digital | b. Generator termoelektrik |
| c. <i>Solar power meter</i> | d. Kipas |
| e. Multimeter digital | f. <i>Heatsink</i> |
| g. Kaca | h. Tembaga |
| i. Alumunium <i>profile T slot</i> | j. Busa |
| k. Kayu | l. Alat tulis |

3. Metode Pengambilan data

Pengambilan data percobaan dilakukan langsung di lapangan untuk mendapatkan data hasil dari penelitian yang nyata. Untuk mempermudah analisis data, maka nilai-nilai pengukuran diletakkan dalam bentuk tabel blok untuk diambil data. Adapun pengambilan data dilakukan dengan cara:

- Memastikan rangkaian komponen sudah sesuai pada rancangan.
- Menjalankan sistem pada generator termoelektrik (TEG) dan mengambil data berupa temperatur, arus, tegangan, dan daya listrik yang dihasilkan oleh alat.
- Melakukan pengulangan percobaan dengan melakukan pengambilan data dari pukul 10:00 sampai 14:00 WIB pada tanggal 01 sampai 06 Mei 2023.

4. Rencana Analisis Data

Dalam tahap ini, data yang telah dikumpulkan pada masing-masing percobaan dan diambil rata-rata dari perhitungan tersebut akan di analisis dan diambil kesimpulannya. Adapun analisa yang dilakukan adalah:

a. Analisis Efisiensi Dari Kolektor Surya Pelat Datar

Pengukuran efisiensi kolektor surya di definisikan sebagai rasio penambahan jumlah panas berguna (Q_u) selama periode tertentu terhadap energi panas matahari yang menimpa kolektor dengan waktu tertentu. Efisiensi untuk kolektor bisa di dapat dengan menggunakan persamaan [13].

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T A_c} \times 100\%$$

Dimana :

η_i = Efisiensi Kolektor (%)

Q_u = Energi Berguna (Watt)

A_c = Luas Kolektor (m^2)

I_T = Intensitas Radiasi (W/m^2)

Energi berguna pada kolektor dapat diperoleh menggunakan persamaan [13].

$$Q_u = A_c F_R [I_T - U_L (T_i - T_o)]$$

Dimana :

Q_u = Energi Berguna (Watt)

C_p = panas spesifik ($J/kg K$)

T_o = temperatur udara keluar kolektor ($^{\circ}C$)

T_i = Temperatur udara masuk kolektor ($^{\circ}C$)

F_R = Faktor pelepasan panas

U_L = Koefisien kehilangan panas total

$\dot{m}$ = Laju aliran massa udara (kg/s)

b. Analisis Efisiensi *Heatsink*

Heatsink adalah logam yang didesain khusus yang biasanya terbuat dari alumunium atau tembaga yang berfungsi untuk memperluas transfer panas pada permukaan [14]. *Heatsink* terdiri dari beberapa susunan sirip-sirip plat tipis yang berjejer [15]. *Heatsink* bekerja dengan cara mentransfer energi panas yang dihasilkan dari peralatan elektronik atau mekanis ke medium fluida yang bersuhu lebih rendah [14]. Untuk efisiensi keseluruhan sirip dapat dinyatakan dengan persamaan [16].

$$\eta_o = \frac{q_t}{q_{max}} = \frac{q_t}{h A_t \theta_b}$$

Dimana :

A_t = Luas total *heatsink* (m^2)

h = Koefisien konveksi ($W/m^2 K$)

θ_b = Beda suhu dasar dan lingkungan ($^{\circ}C$)

q_t = Laju panas total yang dilepas *heatsink*

Laju panas total yang dilepas *heatsink* yang dapat dicari menggunakan persamaan [16].

$$q_t = h [N \eta_f A_f + (A_t N A_f)] \theta_b = h A_f \left[1 - \frac{N A_f}{A_t} (1 - \eta_f) \right] \theta_b$$

Dimana :

q_t = Laju perpindahan panas total yang dilepas *heatsink*

N = Jumlah sirip

h = Koefisien konveksi

A_t = Luas total *heatsink*

A_f = Luas penampang sirip

θ_b = Beda suhu dasar dan lingkungan

η_f = Efisiensi satu sirip.

c. Analisis Efisiensi Generator Termoelektrik (TEG).

Efisiensi termoelektrik sangat bergantung pada perbedaan suhu pada $\Delta T = T_h - T_c$ diseluruh modul termoelektrik. Efisiensi pada termoelektrik sendiri bisa di hitung menggunakan persamaan [9].

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_h} \cdot \frac{\sqrt{1+ZT} - 1}{\sqrt{1+ZT} + T_c/T_h}$$

Dimana :

ΔT = Perbedaan suhu (°C)

T_h = Suhu sisi panas (°C)

T_c = Suhu sisi dingin (°C)

ZT = *Figure of Merit*

Figure of Merit sendiri adalah parameter untuk mengetahui seberapa baik bahan termoelektrik dalam menghantarkan listrik dan menahan panas secara terus menerus [17]. Dimana untuk mencari Figure of Merit bisa menggunakan persamaan [18].

$$ZT = \frac{\alpha^2 \cdot \theta}{R}$$

Dimana:

ZT = *Figure of merit*

α = Koefisien seebeck (V/°C)

R = Hambatan listrik (Ω)

θ = Hambatan termal (°C/W)

d. Analisis Efisiensi Keseluruhan Alat Pembangkit Listrik Panas Matahari

Untuk menghitung keseluruhan performa dari sistem bisa menggunakan persamaan [19]

$$\eta_{total} = \frac{Qu + P_e}{I_T A} \times 100 \%$$

Dimana :

Qu = Energi berguna (Watt)

P_e = Daya listrik yang dihasilkan (W)

I_T = Intensitas radiasi (W/m²)

A = Luas permukaan (m²)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang dilakukan pada tanggal 01 Mei – 06 Mei menghasilkan rata-rata data seperti di bawah ini:

Tabel 1. Data Rata-rata Hasil Penelitian

Waktu	I_T	T_p	T_c	T_{in}	T_{out}	T_s	T_h	T_L	Tegangan	Arus
10:00	687.63	56.73	42.27	30.62	33.98	43.33	41.22	30.10	0.45	0.01
11:00	987.38	61.53	46.03	31.37	37.03	45.83	44.38	30.67	0.56	0.02
12:00	894.70	60.30	45.28	31.37	36.10	45.35	43.80	30.70	0.53	0.02
13:00	598.12	56.17	41.95	30.60	33.32	43.80	41.80	30.25	0.43	0.01
14:00	606.03	56.45	39.97	30.85	33.65	43.07	40.77	30.25	0.40	0.01

Keterangan

a. I_T = Intensitas radiasi matahari (W/m²)

b. T_p = Temperatur pelat tembaga (°C)

c. T_c = Temperatur kaca (°C)

d. T_{in} = Temperatur fluida masuk kolektor (°C)

e. T_{out} = Temperatur fluida keluar kolektor (°C)

f. T_s = Temperatur sirip *heatsink* (°C)

g. T_h = Temperatur dasar *heatsink* (°C)

h. T_L = Temperatur lingkungan (°C)

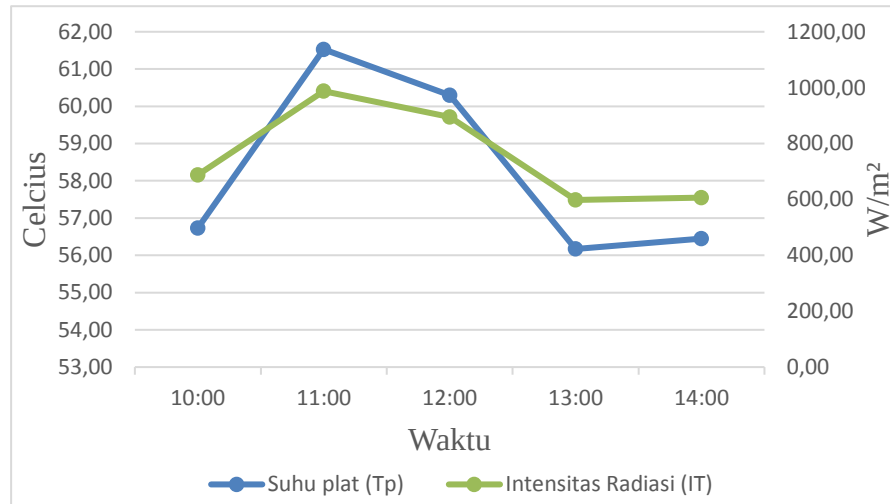
i. Tegangan (V)

j. Arus (A)

1. Efisiensi Kolektor Surya

Tabel 2. Intensitas Radiasi Matahari dan Suhu Pelat

Waktu	Intensitas Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Pelat (°C)
10:00	687.63	56.73
11:00	987.38	61.53
12:00	894.70	60.30
13:00	598.12	56.17
14:00	606.03	56.45

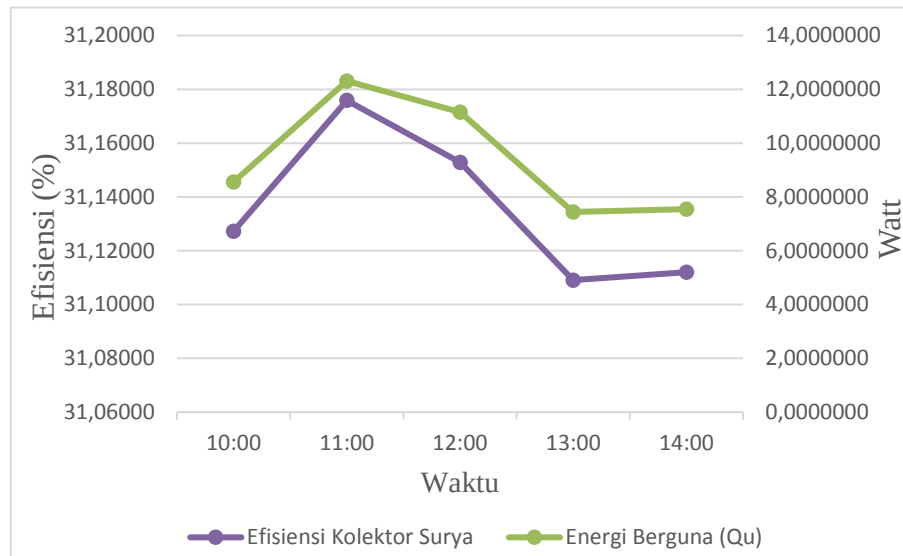


Gambar 2. Grafik Intensitas Radiasi Matahari dan Suhu Pelat

Gambar di atas menggambarkan hubungan antara intensitas radiasi matahari rata-rata dan suhu pelat rata-rata dalam rentang waktu selama 6 hari dari tanggal 01 Mei sampai 06 Mei 2023 pada pukul 10:00 WIB sampai 14:00 WIB. Sedangkan titik tertinggi dari rata-rata di dapat pada pukul 11:00 WIB dengan intensitas radiasi sebesar 987.38 W/m² dan suhu pada pelat di dapat sebesar 61.53 °C dan titik terendah terjadi pada pukul 13:00 WIB dengan intensitas radiasi matahari sebesar 598.12 W/m² dan suhu pelat sebesar 56.17 °C. Dari grafik terlihat bahwa data suhu panas pada pelat yang mengalami fluktuasi sepanjang pengamatan dan bergerak berbanding lurus terhadap intensitas radiasi matahari yang terjadi, hal ini dikarenakan suhu pada pelat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari, kemampuan pelat menyerap panas dan transmisivitas pada cover kaca dalam menyalurkan radiasi matahari ke pelat.

Tabel 3. Energi Berguna dan Efisiensi Kolektor Surya

Waktu	Energi Berguna (Watt)	Efisiensi Kolektor Surya (%)
10:00	8.5616001	31.12721
11:00	12.3129808	31.17589
12:00	11.1489708	31.15282
13:00	7.4427867	31.10909
14:00	7.5419415	31.11208



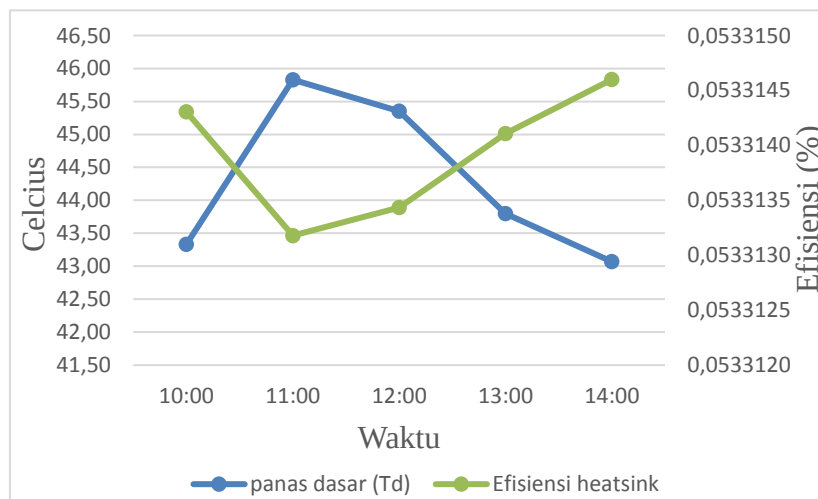
Gambar 3. Grafik Energi Berguna dan Efisiensi Kolektor Surya

Gambar diatas menggambarkan hubungan energi berguna rata-rata dan efisiensi kolektor surya rata-rata pada tanggal 01 Mei sampai 03 Mei 2023 pada pukul 10:00 WIB sampai 14:00 WIB. Dari grafik 4.2 energi berguna rata-rata di dapat data energi berguna tertinggi pada pukul 11:00 WIB sebesar 12.3129808 dan efisiensi dari kolektor surya sebesar 31.17589 dan untuk energi berguna terendah pada pukul 13:00 WIB sebesar 7.4422443 dan efisiensi kolektor sebesar 31.10682. Tingginya nilai efisiensi dari kolektor surya dikarenakan adanya nilai dari energi berguna yang semakin tinggi, pergerakan nilai dari efisiensi sebanding dengan pergerakan dari energi berguna yang dihasilkan pada kolektor surya.

2. Efisiensi *Heatsink*

Tabel 4. Suhu Dasar dan Efisiensi *Heatsink*

Waktu	Suhu Dasar (°C)	Efisiensi <i>Heatsink</i> (%)
10:00	43.33	0.0533143
11:00	45.83	0.0533132
12:00	45.35	0.0533134
13:00	43.80	0.0533141
14:00	43.07	0.0533146



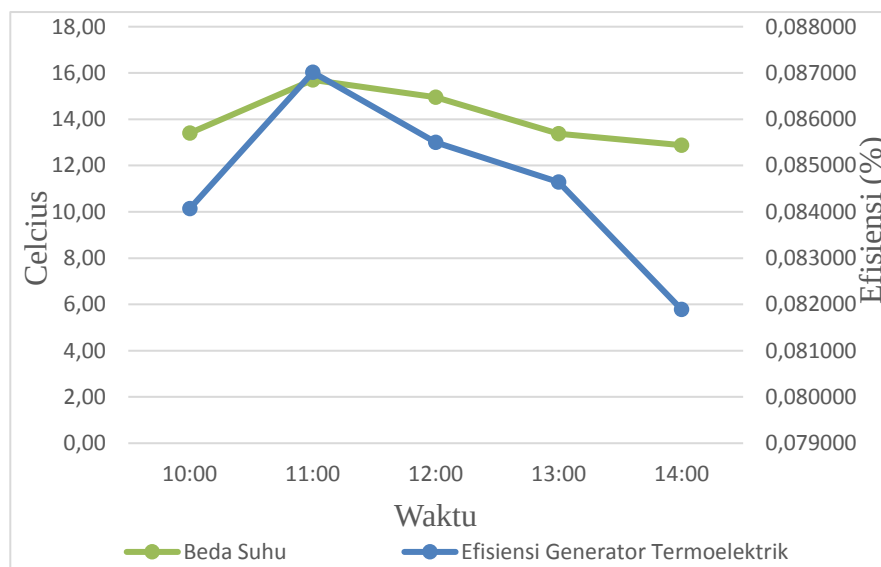
Gambar 4. Suhu Dasar dan Efisiensi *Heatsink*

Dari gambar diatas menunjukkan grafik hubungan efisiensi *heatsink* yang menggunakan sirip persegi panjang dengan menggunakan konveksi natural dan suhu pada dasar rata-rata yang mengalami fluktuasi dalam rentang waktu tertentu selama tanggal 01 Mei sampai 06 Mei 2023 pada pukul 10:00 WIB sampai 14:00 WIB. Dimana suhu pada dasar untuk rata-rata tertinggi terjadi pada pukul 11:00 WIB sebesar 45.83 °C dan yang terendah terjadi pada pukul 14:00 WIB sebesar 43.07 °C dan untuk efisiensi dari *heatsink* memiliki titik rata-rata tertinggi di pukul 14:00 WIB sebesar 0.0533145997 dan titik terendah pada pukul 11:00 WIB 0.533131793. Pergerakan efisiensi pada *heatsink* bergerak dikarenakan adanya pergerakan pada koefisien laju perpindahan panas konveksi yang terjadi pada sirip, dimana jika suhu pada dasar terjadi pada titik tertinggi dan menyebabkan sirip menjadi panas sehingga efisiensi pada *heatsink* akan menjadi pada titik terendah. Hal ini dikarenakan suhu pada dasar *heatsink* yang tinggi menyebabkan koefisien perpindahan panas konveksi menjadi naik sehingga efisiensi pada *heatsink* menjadi rendah.

3. Efisiensi Generator Termoelektrik

Tabel 4. Beda Suhu dan Efisiensi Generator Termoelektrik

Waktu	Beda Suhu (°C)	Efisiensi Generator Termoelektrik (%)
10:00	13.40	0.084070
11:00	15.70	0.087014
12:00	14.95	0.085504
13:00	13.37	0.084644
14:00	12.88	0.081888



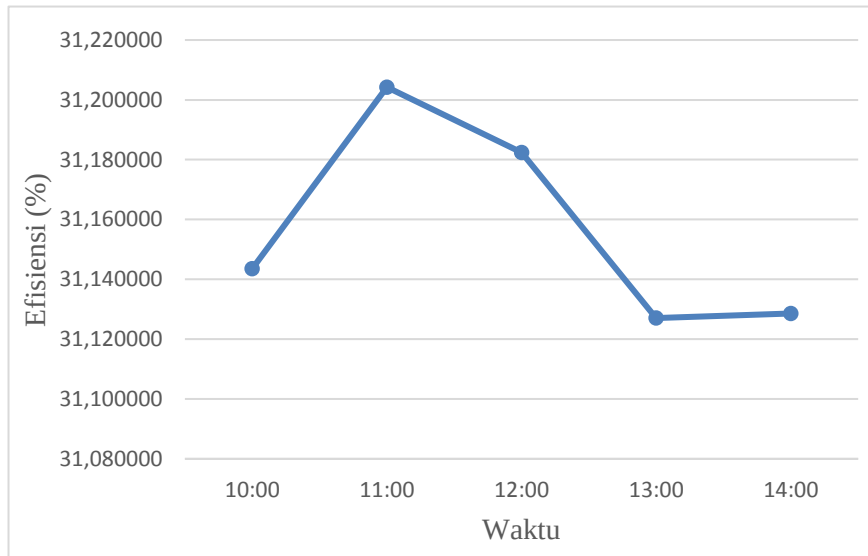
Gambar 4. Beda Suhu dan Efisiensi Generator Termoelektrik

Gambar diatas menunjukkan grafik beda suhu pada sisi panas dan dingin dan efisiensi termoelektrik pada tanggal 01 Mei sampai 06 Mei 2023 pada pukul 10:00 sampai 14:00 WIB. Dari grafik dapat dilihat bahwa terdapat variasi yang signifikan. Dari data beda suhu rata-rata tertinggi terjadi pada pukul 11:00 WIB sebesar 15.70 °C dan efisiensi rata-rata sebesar 0.084070 dan titik terendah terjadi pada pukul 14:00 sebesar 12.88 °C untuk beda suhu dan untuk efisiensi generator termoelektrik terendah sebesar 0.082671. Tingginya efisiensi dari generator termoelektrik dikarenakan terjadinya perbedaan suhu yang tinggi diantara sisi panas yang menempel pada pelat kolektor surya dan sisi dingin yang menempel pada *heatsink* dan menyebabkan daya listrik yang dihasilkan menjadi tinggi sehingga efisiensi dari generator termoelektrik menjadi lebih tinggi.

4. Efisiensi Keseluruhan Alat

Tabel 5. Efisiensi Keseluruhan Alat

Waktu	Efisiensi Keseluruhan Alat (%)
10:00	31.143566
11:00	31.204250
12:00	31.182438
13:00	31.127059
14:00	31.128581



Gambar 5. Efisiensi Keseluruhan Alat

Berdasarkan gambar 5 menunjukkan efisiensi keseluruhan sistem dengan menggunakan kolektor surya pemanas udara pada sisi panas dan *heatsink* pada sisi dingin. Dimana penelitian dilakukan pada tanggal 01 Mei sampai 06 Mei 2023 pada pukul 10:00 WIB sampai 14:00 WIB didapat data efisiensi tertinggi alat rata-rata didapat data efisiensi terbesar berada pada pukul 11:00 sebesar 31.204250 dan titik terendah pada pukul 13:00 sebesar 31.129819. Karena tingginya nilai efisiensi total alat bergantung pada energi berguna yang dihasilkan dari kolektor dan daya yang dihasilkan dari generator termoelektrik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Efisiensi dari kolektor surya pemanas udara bergantung pada energi berguna yang dihasilkan kolektor surya yang dapat dipengaruhi oleh fluktuasi intensitas radiasi matahari yang menyebabkan efisiensi pada kolektor menjadi tinggi tergantung pada intensitas radiasi matahari.
2. Efisiensi pada *heatsink* dipengaruhi oleh panas dasar yang terjadi pada *heatsink*. Dimana jika panas dasar *heatsink* menjadi tinggi maka panas pada sirip akan menjadi tinggi sehingga menyebabkan efisiensi yang terjadi pada *heatsink* menjadi rendah.
3. Efisiensi tertinggi pada generator termoelektrik terjadi ketika perbedaan suhu antara plat absorber kolektor pada sisi panas dan dasar pada *heatsink* pada sisi dingin yang tinggi.
4. Efisiensi keseluruhan alat pembangkit listrik dapat dipengaruhi oleh energi berguna yang dihasilkan kolektor dan daya pada generator termoelektrik.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Adam, L. 2016. Dinamika Sektor Kelistrikan Di Indonesia: Kebutuhan Dan Performa Penyediaan. *Ekonomi Dan Pembangunan*. 24(1):29-41.
- [2] Rahman, D. F. 2022. Hampir 87% Listrik RI Berasal Dari Bahan Bakar Fosil Pada Tahun 2020. Databoks. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/04/12/hampir-87-listrik-ri-berasal-dari-bahan-bakar-fosil-pada-2020>.
- [3] Harjanto, N. T. 2008. Dampak Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil Dan Prospek PLTN Sebagai Sumber Energi Listrik Nasional. *BATAN*. 1(1):39-50.
- [4] Rokhim, A. A., L. Endahwati. Dan S. Sutiyono. 2023. Pemanfaatan Energi Panas Menggunakan Termoelektrik Generator Dengan Variasi Peltier. *FLYWHEEL*. 14(1):19-23.
- [5] Yang, D. Dan H. Y. 2011. Energy Conversion Efficiency Of Novel Hybrid Solar System For Photovoltaic, Thermoelectric, And Heat Utilization. *IEEE Transaction On Energy Conversion*. 26(2):662-670.
- [6] Sitorus, T. B., Farel. H. N. dan Himsar. A. 2014. Korelasi Temperatur Udara Dan Intensitas Radiasi Matahari Terhadap Performansi Mesin Pendingin Siklus Adorpsi Tenaga Matahari. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 1(1):8-17.
- [7] Astawa, K., S. P. G. G. Tista. dan I. W. H. Saputra. 2014. Analisa Performansi Kolektor Surya Pelat Datar Dengan Media Penyimpan Panas Pasir Untuk Pemanas Udara. *TEKNIKA*. 10(1):43-50.
- [8] Cahya, D. D., Joko., A. I. Agung. dan Endryansyah. 2022. Peningkatan Penyerapan Panas Matahari Pada Prototipe Pembangkit Listrik Termoelektrik Generator Menggunakan Panas Kuningan Dengan Pelapisan Warna Hitam. *TEKNIK ELEKTRO*. 11(03):379-385.
- [9] Snyder, G. J. 2008. Small Thermoelectric Generator. *The Electrochemical Society Interface*. 16 Juni 2008. hal 54-56.
- [10] Zega, B. O. 2022. Analisa Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik Generator Terhadap Karakteristik Termoelektrik Generator Pada Motor Bensin 4 Cylinder. *SKRIPSI*. Universitas Islam Riau. Riau.
- [11] Riffat, S. B. dan M. Xiaoli. 2003. Thermoelectric: A Riview of Present and Potentional. *Applied Thermal Enggining*. 23 (2003):913-935.
- [12] Rusli. A. dan R. Djabbar. 2020. Perancangan Pembangkit Listrik Termoelektrik Skala Kecil Dengan Incinerator Sampah Sebagai Media Penghasil Panas. *JURNAL LOGITEC: LOGIKA TECHNOLOGY* 2(1):1-6.
- [13] Duffie, A. J dan W. A. Beckman. 2013. *Solar Engineering Of Thermal Processes*. Fourth Edition. Penerbit John Wiley & Sons. Canada. hal 3-103.
- [14] Sya'rani. T. M., I. D. Sara., dan L. H. Sari., 2019. Pengaruh *Heatsink* Terhadap Kinerja Modul Surya. *Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi*. 2(1):13-18.
- [15] Yunianto, B. 2008. Pengujian Perpindahan Panas Konveksi Pada Heatsink Jenis Extruded. *ROTASI*. 10(1):23-28.
- [16] Incropera, P. F., D. P. Dewitt., T. L. Bergman, dan A. S. Lavine 2006. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons. United States. hal 137-160.
- [17] Putra, N. R. F., Sugiyanto., M. S., Muntini., dan D. Anggoro. 2018. Pemodelan dan Fabrikasi Modul Thermoelectic Generator Berbasis Semikonduktor Bi_2Te_3 . *Jurnal Sains Dan Seni ITS*. 7(2):51-58.
- [18] Purba. E. D., M. R. Kirom. dan R. Fauzi. 2019. Analisis Pemanfaatan Energi Panas Pada Panel Surya Menjadi Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik. *e-Proceeding of Enginerring*. 2 Agustus 2019. 6(2) hal. 4977-4985.

- [19] Ewe, W. E., A. Fudholi., C. H. Yen., N. Asim., dan K. Sopian. 2018. Performance of Solar Air Collector-Thermoelectric Hybrid System. International Conference on Sustainable Energy and Green Technology. 278(2019):1-5.