

The Influence of Coolant Fluid Variations on the Thermoelectric Generator Performance Utilizing Solar Radiation on Zinc Roof

Pengaruh Variasi *Fluida* Pendingin terhadap Performa Termoelektrik Generator dengan Memanfaatkan Radiasi Matahari terhadap Atap Seng

Khairul Rezki^{1*}, Primawati¹, Ambiyar¹, Remon Lapisa^{1,2}

Abstract

Solar energy can be converted into electricity through a thermoelectric generator that operates based on the Seebeck effect, where a greater temperature difference in the thermoelectric element produces a higher voltage. This research aims to evaluate the performance of a thermoelectric generator with various coolant fluids. The study utilized a prototype house with a corrugated zinc roof. Eight thermoelectric generators of SP 1848 27145 SA type, connected in series, were installed beneath the zinc roof. Data were collected over three days from 08:00 to 16:00 in an area exposed to direct sunlight. The results showed an average voltage of 0.593 V for air cooling, 0.539 V for water coolant, and 0.639 V for liquid cooling. From the data, the highest voltage achieved was 1.013 V with liquid cooling, indicating that liquid cooling provides superior cooling capability.

Keywords

Generator Thermoelectric, Solar Radiation, Cooling Fluid

Abstrak

Energi surya dapat diubah menjadi listrik melalui termoelektrik generator yang bekerja berdasarkan efek Seebeck, di mana perbedaan temperatur yang lebih besar termoelektrik akan menghasilkan tegangan yang lebih besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja termoelektrik generator dengan berbagai jenis cairan pendingin. Penelitian ini menggunakan prototipe rumah dengan atap seng bergelombang. Delapan termoelektrik generator tipe SP 1848 27145 SA yang terhubung seri akan dipasang di bawah atap seng. Data dikumpulkan selama tiga hari pada jam 08.00 - 16.00 di area yang terkena sinar matahari langsung. Hasilnya, rata-rata tegangan yang dihasilkan adalah 0,593 V untuk pendingin udara, 0,539 V untuk pendingin water coolant, dan 0,639 V untuk pendingin air. Dari data tersebut, tegangan tertinggi yang dicapai adalah 1,013 V dengan pendingin air. Hal ini menunjukkan bahwa pendingin air memiliki kemampuan pendinginan yang lebih baik.

Kata Kunci

Termoelektrik Generator, Radiasi Matahari, *Fluida* Pendingin

¹ Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jalan Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang, 25131, Indonesia

² Center for Energy and Power Electronics Research, Universitas Negeri Padang
Jalan Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang, 25131, Indonesia

* primawati@ft.unp.ac.id

Submitted : July 20, 2023. Accepted : September 15, 2023. Published : September 20, 2023.

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan manusia yang sangat penting karena selain fungsinya dalam penerangan, energi listrik juga memegang peranan yang sangat penting dalam berbagai aktivitas lainnya bagi manusia [1]. Bahan baku yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik salah satunya dari bahan bakar fosil juga semakin langka dari waktu ke waktu. Semua bahan bakar fosil dapat dibakar sebagai sumber panas. Panas ini dapat digunakan secara langsung, seperti pada tungku rumah, dan digunakan untuk menghasilkan uap untuk menyalakan generator yang dapat menghasilkan listrik. Dari pembangkit listrik batu bara melalui hasil pembakarannya akan menyebabkan emisi gas karbon [2]. Sudah selayaknya kebutuhan energi yang menggunakan energi fosil diubah menjadi energi terbarukan.

Total potensi energi terbarukan dan energi berkelanjutan di Indonesia adalah 442 GW, merupakan potensi yang cukup besar [3]. Panas matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan. Sumber energi matahari dapat digunakan untuk memanaskan air (*solar thermal*), untuk mengasalkan listrik dengan *photovoltaic* dan termoelektrik generator. Panas radiasi matahari di Indonesia adalah 4,8 kWh/m² [4]. Faktor pendukung sumber energi surya di Indonesia karena memiliki iklim tropis [5]. Sebagai daerah tropis dengan kondisi sinar matahari yang terus bersinar sepanjang tahun di berbagai wilayah, menjadikan Indonesia memiliki potensi besar bagi pengembangan PLTS. Terkhusus untuk Provinsi Sumatera Barat memiliki potensi dikembangkannya pembangkit tenaga surya dengan memiliki potensi sebesar 5.898 MW [3].

Di Indonesia rumah-rumah menggunakan bahan seng sebagai atap [6]. Hal ini menyebabkan energi panas yang diserap oleh seng dari sinar radiasi matahari dilepaskan ke ruang di bawahnya. Sehingga atap rumah yang terbuat dari seng terasa lebih hangat daripada rumah yang terbuat dari tanah liat. Dilihat dari letak geografisnya, negara Indonesia berada pada daerah khatulistiwa maka wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10 sampai dengan 12 jam dalam sehari sepanjang tahun [7]. Oleh karena itu Indonesia memiliki peningkatan suhu lingkungan yang cukup tinggi. Maka, dalam pemanfaatan energi yang terdapat pada matahari dapat menjadi solusi energi alternatif yang ramah lingkungan dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi saat ini mulai dikembangkan. Suhu tertinggi yang dapat diserap oleh atap seng adalah 60°C dimana suhu tersebut diperoleh pada pukul 12.00 [8].

Panas terbuang pada atap rumah berbahan seng ini dapat digunakan sebagai salah satu sumber pembangkit listrik. Panas dirubah menjadi listrik menggunakan termoelektrik generator. Termoelektrik ini mempunyai nilai ekonomis yang tinggi dan juga tidak menimbulkan polusi sehingga ramah lingkungan. Termoelektrik dalam mengubah energi panas menjadi energi listrik memanfaatkan efek *seebeck* [9]. Modul ini bekerja dalam menghasilkan listrik dengan menggunakan beda temperatur pada sisi panas dan dingin termoelektrik generator [10].

Tagangan yang dihasilkan termoelektrik generator dengan memanfaatkan panas radiasi matahari pada atap rumah berbahan seng yang dirangkai seri sebanyak 10 modul pada suhu 30-45°C bisa mencapai 0.700 V [11]. Untuk meningkatkan performa modul, maka salah satu sisi modul harus didinginkan untuk memperoleh perbedaan suhu yang lebih besar antara sisi panas dan sisi dingin termoelektrik. Untuk itu diperlukannya sistem pendinginan yang akan dipasang pada sisi dingin suatu modul termoelektrik. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui performa sistem termoelektrik generator dengan menggunakan variasi *fluida* pendingin. Pemasangan sistem pendingin ini diharapkan dapat menurunkan suhu pada sisi dingin suatu modul termoelektrik sehingga dapat menghasilkan tegangan listrik yang lebih besar.

Penelitian ini akan menggunakan metode *passive cooling* dimana sisi yang akan didinginkan akan direkatkan pada bagian sebuah alat penukar kalor dengan sirip (*heat sink*)

aluminium dan *reservoir* yang berisi *fluida* udara, air dan *water coolant*. Data yang diambil dalam penelitian selain perubahan temperatur pada modul sisi panas termoelektrik generator dan temperatur pada modul sisi dingin termoelektrik generator, juga dilihat perubahan tegangan yang dihasilkan termoelektrik generator.

Energi

Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja atau usaha. Energi dapat diubah seperti energi panas menjadi energi listrik. Sumber energi dapat dikelompokkan menjadi energi tak terbarukan dan energi terbarukan. Sumber energi tak terbarukan seperti batu bara, gas alam dan minyak bumi. Sedangkan sumber energi terbarukan adalah panas bumi, hidro, matahari, angin, biomassa, laut dan lainnya [12].

Energi Matahari

Energi matahari adalah sumber energi terbarukan terbesar saat ini. Potensi pemanfaatan energi matahari di Indonesia cukup besar, dikarenakan Indonesia terletak di garis khatulistiwa sehingga dapat disinari cahaya matahari selama 10-12 jam sepanjang tahun. Ada beberapa cara pemanfaatan energi matahari menjadi energi listrik yaitu dengan photovoltaic dan termoelektrik generator.

Termoelektrik Generator

Termoelektrik generator (TEG) atau disebut juga thermoelectric generator, adalah alat yang mengubah perbedaan suhu menjadi energi listrik [13]. TEG terdiri dari modul-modul termoelektrik yang terdiri dari material termoelektrik seperti bismut telurida, silikon germanium, atau timbal telurida. Material ini dirangkai secara seri dan paralel dengan menggunakan bahan pengikat, dan kemudian dipasang di antara dua pelat pemanas. Ketika perbedaan suhu diterapkan pada pelat pemanas, maka akan terjadi perbedaan potensial listrik di dalam material termoelektrik, sehingga tercipta arus listrik.

Efek Seebeck

Efek *seebeck* adalah fenomena di mana perbedaan suhu antara dua konduktor listrik atau semikonduktor yang berbeda menghasilkan perbedaan tegangan antara dua zat. Termoelektrik generator terdiri dari material semikonduktor *tipe-n* dan *tipe-p* [14]. Perbedaan temperatur menyebabkan lompatan muatan dari bahan *semikonduktor* penghantar-n ke bahan *semikonduktor* penghantar-p menciptakan beda potensial dan arus listrik. Nilai dari koefisien *seebeck* tiap material berbeda-beda, semakin tinggi nilai koefisien *seebeck* suatu material maka akan menghasilkan tegangan listrik yang lebih besar ketika ada perbedaan suhu yang sama. Tegangan yang ditimbulkan oleh efek *seebeck* terhadap termoelektrik dapat dihitung menggunakan persamaan 1.

$$V = S \cdot \Delta T \quad (1)$$

dengan

V : Tegangan yang dihasilkan (V)

S : koefisien *Seebeck* (V/K)

ΔT : Perbedaan temperatur pada dua sisi TEG

Fluida Pendingin

Fluida pendingin adalah zat atau medium yang dipakai untuk menyerap panas suatu sistem yang bertujuan untuk mendinginkan sistem tersebut [15]. Bentuk dari fluida pendingin dapat berbentuk cairan atau gas yang memiliki sifat termal masing-masing yang baik dalam menyerap suhu panas suatu sistem dan mengalirkannya.

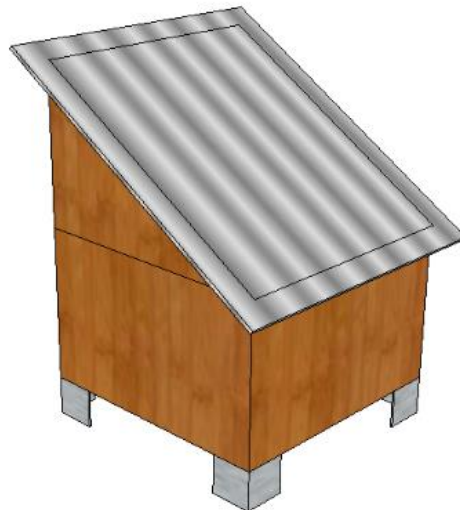
METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini tergolong kepada penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode eksperimen. Penelitian eksperimen adalah penelitian dengan variabel yang datanya belum ada, oleh karena itu perlu dilakukan manipulasi proses dengan memberikan perlakuan tertentu kepada objek penelitian, yang pengaruhnya kemudian diamati/diukur (data yang akan datang). Dimulai dari pembuatan prototipe alat konversi energi termoelektrik generator, pengambilan data dan analisis data. Objek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah prototipe alat konversi energi termoelektrik generator yang mengubah energi panas menjadi energi listrik. Objek penelitian juga termasuk variasi *fluida* pendingin yang digunakan berupa air, *water coolant* dan udara.

Prototipe Alat Konversi Energi Termoelektrik Generator

Prototipe ini dibuat sesuai bentuk rumah secara umum yang dilengkapi dengan dinding berbahan kayu/triplek dan atap bergelombang berbahan seng agar dapat memberikan kondisi sebenarnya yang ada di loteng sebuah rumah. Desain dari prototipe rumah ini dapat dilihat seperti [Gambar 1](#) dan ukuran dimensi prototipe rumah seperti pada [Tabel 1](#).



[Gambar 1](#). Desain Prototipe Termoelektrik generator

[Tabel 1](#). Dimensi Prototipe Rumah

Parameter	Ukuran
Panjang	40 cm
Lebar	30 cm
Tinggi	40 cm
Kemiringan atap	30°

Termoelektrik generator yang akan digunakan pada penelitian ini adalah termoelektrik generator SP 1848 27145 SA dengan ukuran 40 mm x 40 mm, tegangan dan arus maksimal 4,48 V dan 669 mA. Untuk spesifikasi TEG yang digunakan dapat dilihat pada [Tabel 2](#).

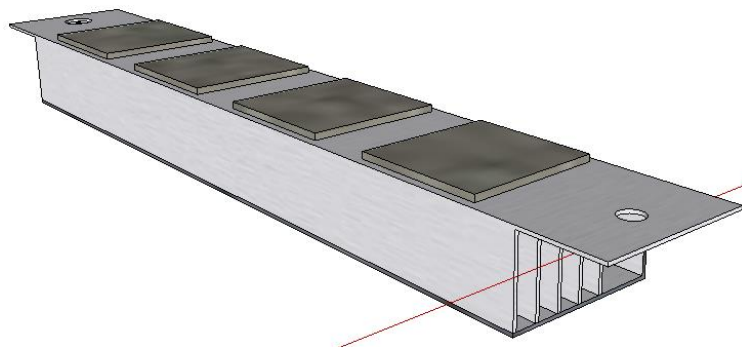
[Tabel 2](#). Spesifikasi TEG

No	Parameter	Nilai
1	Model	TEG SP 1848 27145 SA
2	Temperatur operasi	100°C

3	Tegangan	4,8 V
4	Arus	669 mA
5	Ukuran	40 mm x 40 mm

Heatsink Reservoir Tank

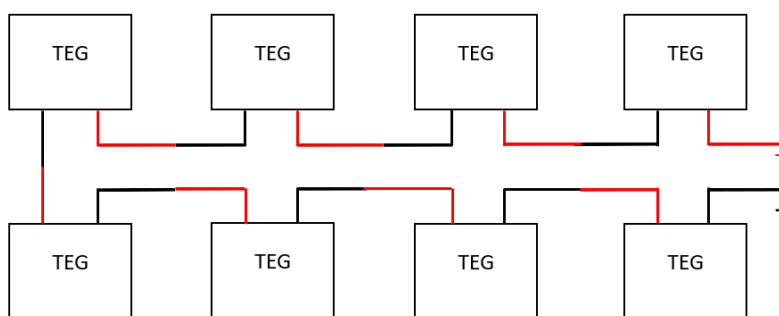
Heatsink reservoir tank seperti [Gambar 2](#) di bawah adalah alat yang dipergunakan sebagai tempat penampung air/cairan pendingin berbahan alumunium dilengkapi sirip-sirip yang berfungsi untuk mengatasi panas yang terjadi pada saat termoelektrik bekerja. *Heatsink reservoir tank* ini memiliki Panjang 30 cm, lebar 4,5 cm dan tinggi 2,5 cm dengan jumbuh sirip sebanyak 4 buah dengan ketebalan 1 mm . Alasan dari pemilihan *heatsink* sebagai sistem pendingin pada penelitian ini adalah mudah untuk diaplikasikan dan tanpa memerlukan energi untuk pendinginannya.



[Gambar 2.](#) Heatsink Reservoir Tank

Rangkaian Termoelektrik Generator

Untuk penelitian ini 8 modul termoelektrik akan dirangkai secara seri dengan cara menghubungkan kabel kutub positif dan negatif masing-masing termoelektrik generator sehingga hanya menyisakan satu kabel kutub positif dan satu kabel kutub negatif. Rangkaian seri 8 termoelektrik generator pada penelitian ini dapat dilihat seperti [Gambar 3](#) dibawah ini.



[Gambar 3.](#) Rangkaian Seri Modul Termoelektrik

Pengambilan Data

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data yang diperoleh dari uji coba yang dilakukan pada objek penelitian berupa tegangan yang dihasilkan prototipe alat konversi energi termoelektrik generator, suhu sisi panas dan dingin modul termoelektrik. Pengambilan data dilakukan selama tiga hari pada pukul 08.00 – 16.00 di area terbuka yang langsung terpapar sinar matahari pada tanggal 2-4 Juni 2023. Pengambilan data dilakukan di daerah Parupuak Tabiang, Kecamatan Koto Tengah, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat. Pengambilan data dilakukan pengukuran pada tegangan, perbedaan suhu yang ada pada sisi panas dan sisi dingin termoelektrik generator. Pengukuran akan dilakukan setiap 10 menit

selama 8 jam dimulai dari pukul 08.00-16.00, sehingga jumlah data yang didapat sekitar 49 data.

Tegangan yang Dihasilkan

Untuk pengukuran tegangan (V) yang dihasilkan oleh termoelektrik generator pada penelitian ini adalah dengan menggunakan multimeter. Multimeter yang digunakan adalah multimeter dengan merek Krisbow Digital Multimeter KW0600796. Probe yang ada pada multimeter akan dihubungkan ke kabel output termoelektrik generator untuk melihat perubahan tegangan yang terjadi.

Suhu Sisi Dingin dan Panas Termoelektrik

Pada pengukuran suhu yang ada pada sisi dingin (T_c) dan panas (T_h) termoelektrik ini akan menggunakan 2 termometer digital. Sebanyak 2 sensor suhu akan di pasang masing-masing pada bagian bawah atap seng dan pada sisi *heatsink resevoir tank*.

Analisis Data

Semua data yang sudah diperoleh akan dianalisis menggunakan software microsoft excel. Data-data yang sudah ada tersebut akan dirata-ratakan untuk setiap jam pengukuran dan hasil akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Lalu akan diamati pengaruh perubahan suhu dan tegangan yang dihasilkan termoelektrik generator dengan masing-masing *fluida* pendingin yang digunakan. Untuk memperoleh nilai selisih dari suhu panas dan dingin termoelektrik generator dapat menggunakan persamaan 2 pada misrosoft excel.

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (2)$$

dengan

- ΔT : Perbedaan temperatur pada dua sisi TEG
- T_h : Temperatur sisi panas ($^{\circ}\text{C}$)
- T_c : Temperatur sisi dingin ($^{\circ}\text{C}$)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Gambar 4 adalah prototipe rumah untuk pengambilan data yang dipasangkan termoelektrik generator yang diletakkan di antara bagian bawah atap seng dan *heatsink reservoir tank* sebagai alat bantu pendinginan. **Gambar 5** merupakan bentuk pemasangan rangkaian termoelektrik pada atap seng. Sebanyak 8 termoelektrik generator dirangkai secara seri dengan menghubungkan kutub positif dan negatif masing-masing termoelektrik generator.



Gambar 4. Prototipe Rumah



Gambar 5. Rangkaian TEG pada Atap

Tabel 3 adalah data yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan. Nilai yang terlihat pada Tabel 3 adalah rata-rata dari hasil pengukuran temperatur sisi panas termoelektrik, suhu sisi dingin termoelektrik, perbedaan suhu antara sisi panas dan dingin termoelektrik dan tegangan yang dihasilkan protoripe pembangkit termoelektrik pada penelitian ini yang diukur mulai dari pukul 08.00-16.00.

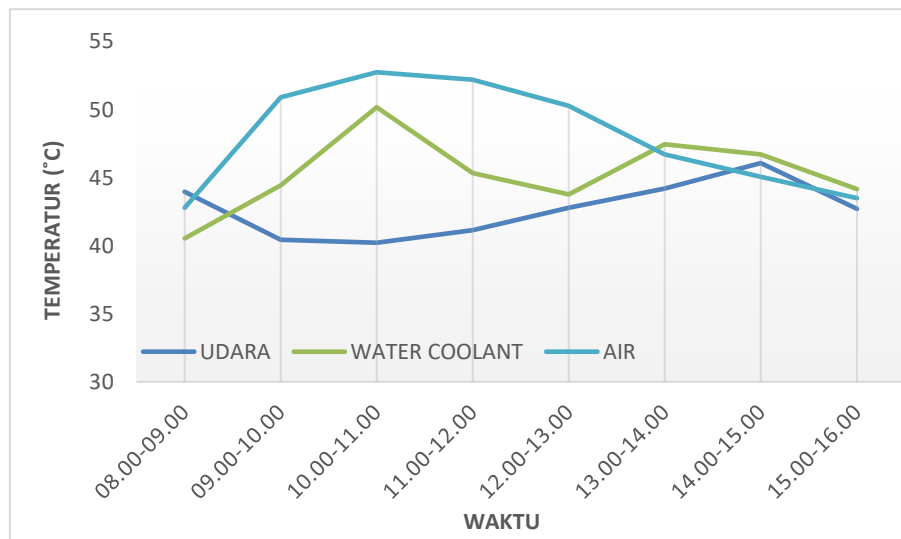
Tabel 3. Data Hasil Penelitian

WAKTU	PENDINGIN UDARA				PENDINGIN AIR				WATER COOLANT			
	T_h	T_c	ΔT	V	T_h	T_c	ΔT	V	T_h	T_c	ΔT	V
08.00-09.00	43,96	36,81	7,15	0,599	42,78	33,88	8,9	0,609	40,53	33,55	6,98	0,566
09.00-10.00	40,41	36	4,41	0,570	50,88	42,26	8,61	0,707	44,43	37,73	6,7	0,447
10.00-11.00	40,21	34,1	6,11	0,631	52,73	42,58	10,15	0,745	50,16	39,8	10,36	0,778
11.00-12.00	41,15	35,16	5,98	0,662	52,16	41,91	10,25	0,790	45,31	37,8	7,51	0,570
12.00-13.00	42,8	36,23	6,56	0,665	50,28	42,06	8,21	0,774	43,76	37,75	6,01	0,479
13.00-14.00	44,18	37,03	7,15	0,638	46,71	41,31	5,4	0,637	47,45	42,4	5,05	0,638
14.00-15.00	46,06	39,66	6,4	0,605	45,05	40,05	5	0,517	46,68	43,68	3	0,445
15.00-16.00	42,7	37,9	4,8	0,402	43,48	40	3,48	0,373	44,17	40,9	3,27	0,406

Pada temperatur sisi dingin termoelektrik generator dengan pendingin udara dapat menjaga perbedaan suhu pada 4,41°C-7,15 °C dengan tegangan yang dihasilkan dari 0,570V-0,665V. untuk temperatur sisi dingin termoelektrik generator pendingin air dapat menjaga perbedaan suhu pada 3,48 °C-10,25 °C dengan tegangan yang dihasilkan dari 0,337V-0,790V. Sedangkan temperatur sisi dingin termoelektrik generator pendingin *water coolant* dapat menjaga perbedaan temperatur pada 3 °C-10,36 °C dengan tegangan yang dihasilkan dari 0,406V-0,778.

Pembahasan

Gambar 6 adalah grafik temperatur pada sisi panas termoelektrik generator atau atap prototipe rumah berbahan seng yang dibuat berdasarkan data pada Tabel 3. Panas yang diserap oleh atap seng berkisar pada suhu $40,21^{\circ}\text{C}$ - $52,73^{\circ}\text{C}$.

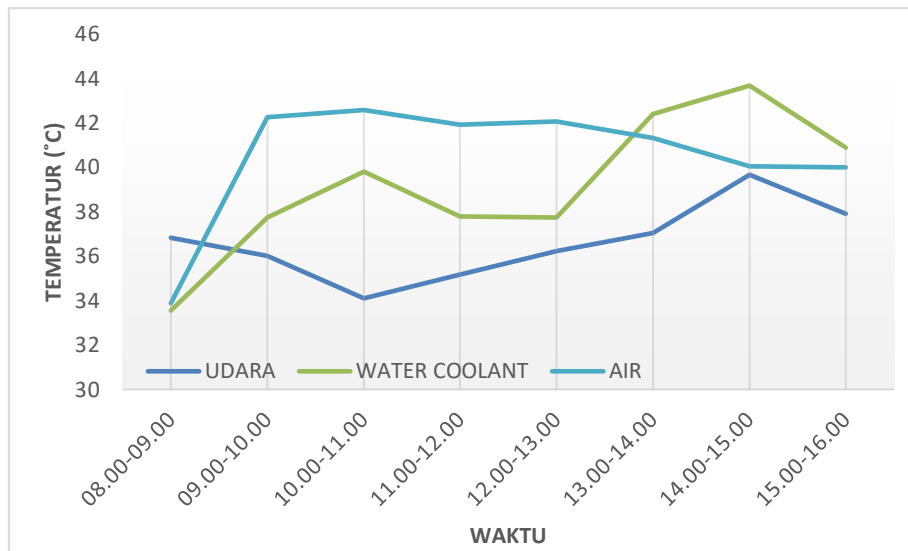


Gambar 6. Grafik Temperatur pada Sisi Panas TEG (Th)

Temperatur pada atap prototipe rumah ini memiliki suhu yang cukup berbeda, dikarenakan data temperatur atap rumah ini diambil selama 3 hari pada tanggal 2-4 juni 2023 mulai pukul 08.00-16.00 yang dimana kondisi cuaca atau intensitas cahaya matahari tidak selalu sama saat pengukuran hari pertama hingga hari ke-3. Dapat dilihat data seperti Tabel 3 suhu rata-rata yang dapat diserap atap seng selama 3 hari pengukuran berada pada kisaran $45,3^{\circ}\text{C}$ dan suhu tertingginya adalah pada suhu $57,1^{\circ}\text{C}$. Untuk rata-rata temperatur atap seng atau sisi panas termoelektrik generator masing-masing penggunaan *fluida* pendingin adalah $42,9^{\circ}\text{C}$ untuk pendingin udara, $45,2^{\circ}\text{C}$ untuk pendingin *water coolant* dan $47,9^{\circ}\text{C}$ untuk pendingin air.

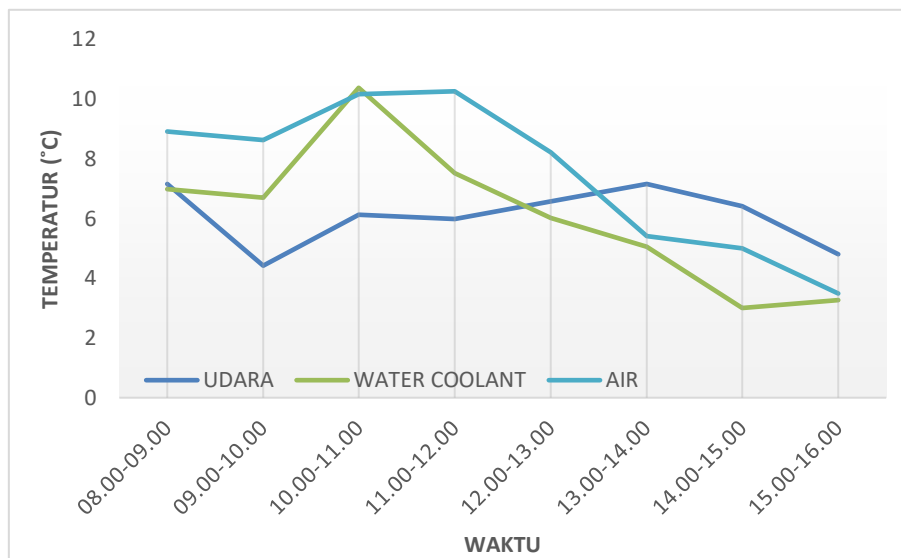
Ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi kemampuan penyerapan panas matahari oleh atap seng. Seperti pada penelitian ini yang memiliki rata-rata panas yang diserap lebih rendah dikarenakan kondisi cuaca saat pengukuran yang sedikit berangin. Udara yang bergerak dapat menghambat panas yang akan diserap oleh atap seng sebagai kolektor panas.

Gambar 7 adalah grafik temperatur pada sisi dingin termoelektrik generator. Temperatur pada sisi dingin termoelektrik generator pada penelitian ini memiliki nilai yang cukup berbeda untuk masing-masing jenis *fluida* pendingin yang digunakan. Perbedaan temperatur ini dikarenakan nilai temperatur sisi panas termoelektrik generator yang diserap oleh atap seng juga memiliki perbedaan karena pengukuran dilakukan pada hari yang berbeda. Karena lokasi termoelektrik generator yang dipasang di bawah atap seng sehingga dapat mempengaruhi temperatur karena terjadinya perpindahan panas secara konveksi. Perpindahan panas konveksi terjadi karena adanya udara yang ada pada ruangan ruangan (loteng). Hal ini akan menyebabkan udara yang ada di ruangan (loteng) yang awalnya berada di suhu normal bisa berubah temperatur karena adanya panas matahari yang diperoleh atap seng, sehingga dapat mempengaruhi temperatur sisi dingin termoelektrik generator. Berdasarkan data pada grafik di atas dapat diketahui rata-rata suhu sisi dingin termoelektrik generator adalah $36,6^{\circ}\text{C}$ untuk pendingin udara, $39,2^{\circ}\text{C}$ untuk pendingin *water coolant* dan $40,5^{\circ}\text{C}$ untuk pendingin air.



Gambar 7. Grafik Temperatur pada Sisi Dingin TEG (T_c)

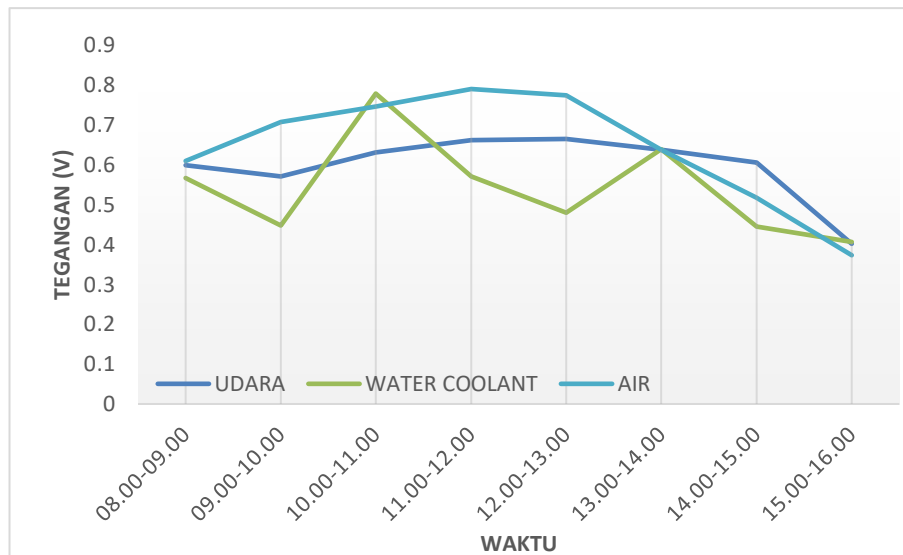
Gambar 8 adalah grafik yang menunjukkan perbedaan temperatur pada termoelektrik generator. Perbedaan temperatur ini diperoleh dengan cara menghitung selisih antara temperatur panas dan temperatur dingin termoelektrik generator menggunakan persamaan (2).



Gambar 8. Grafik Perbedaan Temperatur TEG (ΔT)

Berdasarkan data pada grafik pada Gambar 8 diperoleh rata-rata perbedaan suhu masing-masing *fluida* pendingin yang digunakan selama 8 jam pengukuran sehari adalah $6,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk pendingin udara, $6,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk pendingin *water coolant* dan $7,42\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk pendingin air.

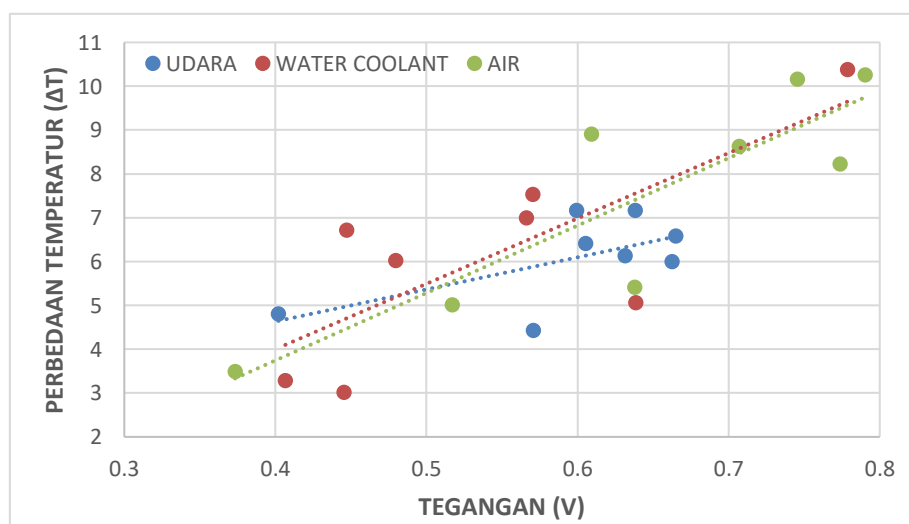
Gambar 9 adalah grafik tegangan listrik yang mampu dihasilkan oleh termoelektrik generator. Dapat dilihat pada Gambar 9 bahwa semakin besar perbedaan temperatur akan menghasilkan tegangan yang lebih besar, hal ini sesuai dengan persamaan (1).



Gambar 9. Grafik Tegangan Listrik (V)

Berdasarkan grafik pada Gambar 9 dapat dilihat listrik yang dihasilkan termoelektrik generator berpendingin udara relatif lebih konstan pada saat pengukuran dengan rata-rata tegangan yang dihasilkan sebesar 0,593 volt dan tegangan tertinggi yang dihasilkan adalah 0,831 volt. Untuk tegangan yang dihasilkan termoelektrik dengan pendingin *water coolant* memiliki rata-rata 0,539 volt dan tegangan tertinggi 0,883 volt. Sedangkan tegangan yang dihasilkan termoelektrik berpendingin air memiliki rata-rata 0,639 volt dan tegangan tertingginya sebesar 1,013 volt. Tegangan termoelektrik generator yang dihasilkan ini kurang stabil dikarenakan nilai perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin termoelektrik yang juga kurang stabil, yang seketika dapat melonjak dan menurun drastis.

Setelah semua data diperoleh dapat dilihat bagaimana pengaruh dari fluida pendingin yang digunakan terhadap tegangan termoelektrik yang dihasilkan. Gambar 10 menampilkan grafik pengaruh perbedaan temperatur terhadap tegangan listrik termoelektrik generator.



Gambar 10. Grafik Pengaruh Perbedaan Temperatur Terhadap Tegangan Listrik TEG

Dapat dilihat bahwa meningkatnya perbedaan suhu pada sisi dingin dan sisi panas termoelektrik generator berbanding lurus dengan meningkatnya tegangan yang dihasilkan termoelektrik generator. Hal ini berkaitan dengan efek *Seebeck* yang bekerja pada termoelektrik generator, yaitu adanya perbedaan potensial listrik yang terjadi di dalam bahan

konduktor ketika terdapat perbedaan suhu pada kedua ujungnya. Dengan diberikannya pendinginan dengan fluida cairan dapat meningkatkan perbedaan temperatur dan tegangan yang dihasilkan termoelektrik generator.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari hasil pengukuran yang didapatkan tegangan listrik yang dihasilkan dapat mencapai 1,013 V pada suhu sisi panas termoelektrik 56,6°C dan suhu sisi dingin 44,3°C dengan perbedaan temperatur 12,3°C dengan penggunaan pendingin air. Sebuah modul termoelektrik bisa menghasilkan tegangan 4,8 V dengan perbedaan temperatur 100°C. Sedangkan suhu rata-rata masing-masing jenis pendingin yang digunakan adalah 36,6°C untuk pendingin udara, 39,2°C untuk pendingin *water coolant* dan 40,5°C untuk pendingin air. Besar atau kecilnya temperatur yang ada pada sisi dingin dipengaruhi oleh suhu yang dapat diserap atap seng dan jenis *fluida* pendingin yang digunakan. Pada penggunaan *fluida* pendingin penelitian ini rata-rata perbedaan suhu masing-masing *fluida* pendingin yang digunakan selama 8 jam pengukuran sehari adalah 6,04 °C untuk pendingin udara, 6,05 °C untuk pendingin *water coolant* dan 7,42°C untuk pendingin air.

Dan rata-rata tegangan yang dihasilkan dengan masing-masing *fluida* pendingin adalah 0,593 V untuk pendingin udara, 0,539 V untuk pendingin *water coolant* dan 0,639 V untuk pendingin air. Dengan diberikannya fluida pendingin pada penelitian ini dapat meningkatkan perbedaan temperatur dan tegangan yang dihasilkan termoelektrik generator. Berdasarkan data tersebut pendingin air lah yang dapat melakukan pendinginan lebih baik. Keuntungan lain penggunaan pendingin air yaitu lebih ramah lingkungan dan lebih hemat biaya.

Saran

Adapun rekomendasi dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya adalah bisa menggunakan sistem pendingin *active cooling*, seperti dengan mempergunakan pompa untuk menggerakkan *fluida* pendingin dari bak penampungan pendingin ke *heatsink reservoir tank* yang terletak di sisi dingin termoelektrik.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Z. Sun *et al.*, "Emerging design principles, materials, and applications for moisture-enabled electric generation," *eScience*, vol. 2, no. 1, pp. 32–46, 2022, doi: 10.1016/j.esci.2021.12.009.
- [2] Q. Xiahou, C. H. Springer, and R. Mendelsohn, "The effect of foreign investment on Asian coal power plants," *Energy Econ.*, vol. 105, 2022, doi: 10.1016/j.eneco.2021.105752.
- [3] Dewan Energi Nasional, "Neraca Energi Nasional 2020," *Lap. Kaji. Penelahaan Neraca Energi Nas. 2020*, p. 14, 2020.
- [4] N. A. Handayani and D. Ariyanti, "Potency of solar energy applications in Indonesia," *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 1, no. 2, pp. 33–38, 2012, doi: 10.14710/ijred.1.2.33-38.
- [5] G. Widayana, "Prototipe Sistem Pengeriing Cengkeh Dengan Energi Surya," *Pros. Semin. Nas. Tah. mesin XIV (SNTTM XIV)*, no. Snttm Xiv, pp. 7–8, 2015, [Online]. Available: file:///D:/VIII_Semester/MKI/Dapus/2015_Gede Sistem Pengeriingan.pdf
- [6] F. Rozi, I. Rahmayuni, A. Syawaldipa, F. Nova, P. Primawati, and B. Batara, "A Framework of image processing and machine learning utilization for flood disaster management," *Teknomekanik*, vol. 5, no. 2, pp. 112–117, 2022, doi: 10.24036/teknomekanik.v5i2.17372.
- [7] E. Roza and M. Mujirudin, "Perancangan Pembangkit Tenaga Surya Fakultas Teknik UHAMKA," *Ejournal Kaji. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 16–30, 2019, [Online]. Available:

- <http://download.garuda.ristekdikti.go.id/article.php?article=984946&val=11994&title=PERANCANGAN PEMBANGKIT TENAGA SURYA FAKULTAS TEKNIK UHAMKA>
- [8] N. Nazaruddin, T. Zulfadli, and A. Mulkan, "Studi Kemampuan Penyerapan Panas pada Atap Rumah Seng Berwarna Terhadap Intensitas Matahari dalam Mengatasi Global Warming," *Int. J. Nat. Sci. Eng.*, vol. 4, no. 3, p. 114, 2020, doi: 10.23887/ijnse.v4i3.30065.
- [9] S. Kumar, S. D. Heister, X. Xu, and J. R. Salvador, "Optimization of Thermoelectric Components for Automobile Waste Heat Recovery Systems," *J. Electron. Mater.*, vol. 44, no. 10, pp. 3627–3636, 2015, doi: 10.1007/s11664-015-3912-4.
- [10] S. M. Pourkiaei *et al.*, "Thermoelectric cooler and thermoelectric generator devices: A review of present and potential applications, modeling and materials," *Energy*, vol. 186, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.07.179.
- [11] 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/motivection.v4i2.115.
- [12] K. D. Anisa, A. K, R. Lapisa, and M. Mulianti, "Comparative Study of Numerical and Experimental Analysis of Micro Hydro Power Plant in Nagari Koto Hilalang Solok Regency," *Motiv. J. Mech. Electr. Ind. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 47–60, 2022, doi: 10.46574/motivection.v5i1.188.
- [13] M. Hamid Elsheikh *et al.*, "A review on thermoelectric renewable energy: Principle parameters that affect their performance," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 337–355, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.10.027.
- [14] A. Alashkar and A. H. Alami, "Overview of Thermoelectric Materials," in *Encyclopedia of Smart Materials*, Elsevier, 2021, pp. 319–325. doi: 10.1016/B978-0-12-815732-9.00093-0.
- [15] A. Pawawoi and Z. Zulfahmi, "Penambahan Sistem Pendingin Heatsink Untuk Optimasi Penggunaan Reflektor Pada Panel Surya," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 1, p. 1, 2019, doi: 10.25077/jnte.v8n1.607.2019.