



Jurnal Artikel

Konversi Energi Termal Surya Menjadi Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik

Rifky^{1*}, Agus Fikri², Mohammad Mujirudin³

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

³Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

¹rifky@uhamka.ac.id, ²agus_fikri@uhamka.ac.id, ³mujirudin@uhamka.ac.id

*Corresponding author : rifky@uhamka.ac.id

Artikel Info - : Received : 14 Feb 2021; Revised : 20 Feb 2021; Accepted: 28 Feb 2021

Abstrak

Salah satu pemanfaatan energi surya adalah mengkonversi energi termalnya menjadi energi listrik. Konverter yang digunakan adalah generator termoelektrik. Panas matahari diterima sisi panas termoelektrik melalui penyerap panas, sedangkan sisi dinginnya dilekatkan sistem pendingin aktif dengan fluida air. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan daya luaran semaksimal mungkin dari sistem generator termoelektrik yang mengkonversi energi termal surya menjadi energi listrik pada model bangunan. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental, yang didahului dengan perancangan dan pembuatan alat penelitian. Alat penelitian berbentuk sistem generator yang diletakkan di atap model bangunan. Sistem generator terdiri dari penyerap panas aluminium, termoelektrik yang terdiri dari 15 set, dan sistem pendingin yang menggunakan fluida air bersirkulasi. Pengujian terhadap sistem dengan cara mengoperasikannya sambil melakukan pengamatan dan pengambilan data. Variabel dalam penelitian ini adalah susunan sambungan generator termoelektrik (seri dan paralel). Sementara data masukan adalah kelembaban udara, kecepatan angin, temperatur, dan aliran alir; sedangkan data luaran adalah tegangan listrik dan arus listrik. Hasil penelitian mendapatkan bahwa dengan perbedaan temperatur 12,8°C menghasilkan daya maksimum sebesar 2,214 watt dari susunan seri sambungan termoelektrik. Sementara dengan perbedaan temperatur 15,4°C mendapatkan daya maksimum sebesar 0.101 watt dari susunan paralel sambungan termoelektrik.

Kata kunci: energi, surya, termoelektrik, atap, daya

Abstract

One of the uses of solar energy is converting its thermal energy into electrical energy. The converter used is a thermoelectric generator. The sun's heat is received by the thermoelectric hot side through the heat sink, while the cold side is attached by an active cooling system with water fluid. This study aims to obtain the maximum possible output power from a thermoelectric generator system that converts solar thermal energy into electrical energy in the building model. The research method used is experimental, which is preceded by the design and manufacture of research tools. The research tool is in the form of a generator system that is placed on the roof of the building model. The generator system consists of an aluminum heat sink, a thermoelectric consisting of 15 sets, and a cooling system that uses circulating water fluid. Testing the system by operating it while observing and collecting data. The variable in this research is the connection arrangement of the thermoelectric generator (series and parallel). While the input data are humidity, wind speed, temperature, and flow flow; while the output data is electric voltage and electric current. The results showed that with a temperature difference of 12.8°C the maximum power was 2,214 watts from the series arrangement of the thermoelectric junction. Meanwhile, with a temperature difference of 15.4°C, the maximum power is 0.101 watts from the parallel arrangement of the thermoelectric connection.

Keywords: energy, solar, thermoelectric, roof, power

1. PENDAHULUAN

Indonesia beruntung terletak di katulistiwa yang mendapat limpahan sinar matahari sepanjang tahun. Oleh karena sebagai sumber energi yang berlimpah[1] ,[2], sangat besar[3], paling stabil[4], tersedia untuk jangka panjang[4] karena hampir tidak pernah habis[3],[4], dan tidak berpolusi[3],[5], matahari memberikan potensi besar bagi tempat yang berada di zona katulistiwa[2].

Di sisi lain, radiasi matahari menunjukkan penampilan yang berbeda tergantung pada topografi permukaan bumi. Sementara kepadatan tenaga surya ini bervariasi dengan garis lintang, ketinggian, dan musim dalam setahun di samping waktu pada hari tertentu[2].

Radiasi sinar matahari membawa energi, kemungkinan membagi cahaya menjadi tiga kelompok yang tumpang tindih sebagai: (1)kelompok fotovoltaik: menghasilkan listrik langsung dari cahaya matahari; (2)kelompok fotokimia: menghasilkan listrik, atau bahan bakar gas dan cahaya melalui proses kimia non-hidup, dan (3) kelompok fotobiologis: menghasilkan makanan (bahan bakar hewan dan manusia) dan bahan bakar gas melalui organisme atau tanaman hidup. Kelompok (1) dan (2) yang aplikasinya disebut teknologi surya aktif. Sementara kelompok (3) digunakan pada teknologi surya pasif[1].

Untuk memanfaatkan energi matahari dengan mengeksploitasinya melalui langkah-langkah fungsional penangkapan, konversi, dan penyimpanan. Energi tersebut tiba di bumi ketika radiasi didistribusikan melintasi spektrum warna dari inframerah ke ultraviolet[6].

Sebagian besar teknologi pembangkit listrik termal saat ini harus terlebih dahulu mengubah energi termal menjadi

pekerjaan mekanik sebelum menghasilkan listrik[7].

Sementara teknologi pembangkit listrik tenaga surya langsung, seperti termoelektrik, termionik, magneto hidrodinamik, dan metode termoelektrik alkali-logam, adalah beberapa cara yang paling menarik untuk menyediakan energi listrik dari panas matahari[4]. Secara harfiah termoelektrik terkait fenomena termal dan listrik. Termoelektrik secara langsung dapat mengubah energi termal menjadi energi listrik. Sistem ini bermula pada fenomena material yang memiliki perilaku seperti halnya pada termokopel [8].

Konverter daya termoelektrik tidak memiliki bagian yang bergerak, kompak, tenang, sangat andal[7], fleksibel [4], struktur sederhana[9] dan ramah lingkungan[4],[7],[9].

Pada prinsipnya, generator termoelektrik menghasilkan tenaga listrik dengan cara yang sangat efisien dari panas yang diberikan radiasi matahari[10].

Namun, masalahnya daya listrik yang disalurkan bervariasi sesuai dengan arus yang ditarik oleh beban listrik. Untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan, impedansi beban listrik harus sama dengan resistansi internal[11]. Sehubungan dengan hal tersebut perlu dibuat variasi susunan sambungan antar generator termoelektrik untuk mendapatkan susunan sambungan yang sesuai.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Prinsip dasar termoelektrik adalah termokopel. Berkaitan dengan perilaku termokopel ada lima mekanisme berbeda yang perlu diperhatikan, yaitu[12]:

- a. Konduksi panas atau efek Fourier[9].
- b. Kerugian atau efek Joule[9].
- c. Efek Seebeck.

- d. Efek Peltier.
- e. Efek Thomson

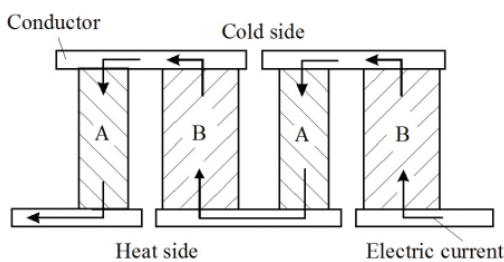
Efek Seebeck, efek Peltier dan efek Thomson disebut efek termoelektrik[13]. Efek Seebeck menjelaskan adanya gaya gerak listrik atau perbedaan potensial dapat dihasilkan karena adanya perbedaan temperatur[14],[15],[15],[4],[11].

Besarnya perbedaan temperatur ini menentukan besarnya perbedaan tegangan dan arah aliran panas menentukan polaritas tegangan[11].

Pada dasarnya termoelektrik terdiri dari dua perangkat, yaitu generator termoelektrik (TEG) dan pendingin termoelektrik (TEC), dimana TEG bekerja dengan prinsip efek Seebeck sedangkan TEC beroperasi dengan dasar efek Peltier.

Generator termoelektrik yang bekerja dengan prinsip efek Seebeck, dimana adanya perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin termoelektrik menghasilkan perbedaan potensial listrik. Pada sisi panas diberikan kalor, sedang pada sisi dingin adanya penyerapan kalor sehingga menjadi dingin[16].

Skema konversi langsung energi termal menjadi listrik ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Generator termoelektrik[15]

Aplikasi teknologi termoelektrik, diantaranya pada bidang penginderaan jauh ,otomotif (pendingin dan penghangat kursi di mobil mewah), kompor, catu daya misi ruang angkasa, pembangkit listrik industri[11], untuk menyediakan minuman dingin, pada arloji dan alat pacu jantung biothermoelectric[4],[10]. Selain itu sistem

pemulihan limbah panas yang memanfaatkan knalpot mobil untuk memberikan energi listrik tambahan dan meningkatkan efisiensi[4],[10].

Material termoelektrik sangat mempengaruhi efisiensi untuk pembangkit listrik tenaga surya. Material tersebut harus menghadirkan stabilitas termal dan kimia yang sangat baik pada suhu tinggi ketika digunakan di bawah radiasi matahari terkonsentrasi[4]. Material generasi pertama didasarkan pada konduktor listrik dan semikonduktor, seperti antimon, bismut, tembaga, besi, timah, seng, dan berbagai paduan. Kemudian, pada abad ke-20, banyak material termoelektrik lainnya dikembangkan: keramik, komposit, dan lain-lain. Semikonduktor yang diperbarui menjadi dasar untuk produksi efek termoelektrik[15]. Sifat efek termoelektrik ditentukan oleh kinerja material termoelektrik dan efisiensi material termoelektrik tunggal.

Efisiensi konversi perangkat termoelektrik tidak hanya tergantung pada sifat fisik-kimia material[4], temperatur dan nilai z [15], tetapi juga pada konstruksi dan geometri perangkat, serta pada panas makroskopik dan transportasi elektronik, serta beban listrik yang diterapkan pada TEG dan geometri TEG[15].

Efisiensi tertinggi yang mungkin dari dapat dicapai sebesar 9,8%, 13,5%, dan 14,1% untuk Bi_2Te_3 , skutterudite, dan paduan antimony lead telluride perak[4].

3. METODE PENELITIAN

Di atas susunan generator termoelektrik dipasang pelat aluminium sebagai penyerap panas matahari, sedangkan sistem pendingin diletakkan dibawahnya. Sistem pendingin terbuat dari pelat yang dialiri fluida air yang didinginkan. Fluida pendingin ini terus dioperasikan selama proses konversi energi yang terjadi pada

termoelektrik. Fungsi pendingin ini untuk menjaga temperatur sisi dingin termoelektrik sehingga dengan sisi panasnya menghasilkan perbedaan temperature sebesar mungkin.

Paremeternya adalah variasi susunan sambungan generator termoelektrik, dengan dua jenis susunan sambungan, yaitu susunan seri dan susunan paralel.

Termoelektrik beroperasi sepanjang hari, dari mulai pukul 09.00 sampai 15.00 dengan rentang setiap 30 menit selama tiga hari eksperimentasi dan pengujian. Data yang berupa kelembaban udara, kecepatan angin, temperatur lingkungan, temperatur sisi panas, temperatur sisi dingin, temperatur fluida pendingin, aliran fluida dikumpulkan sebagai data masukan. Untuk data keluaran adalah besarnya tegangan dan arus listrik yang dihasilkan yang diukur dengan Voltmeter dan Amperemeter.

Dalam sistem generator termoelektrik ini, dilakukan pengukuran kinerja sistem yang ditempatkan pada atap model bangunan. Secara bersamaan kedua sistem rangkaian susunaan seri dan paralel dioperasikan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian merupakan temuan penelitian yang berupa data mentah dari hasil pengkuran terhadap masukan dan luaran sistem. Setelah dilakukan pengolahan didapatkan data hasil olahan. Perbedaan temperatur dihitung dari selisih temperatur sisi panas dengan sisi dingin termoelektrik. Sementara data luaran adalah tegangan listrik dan arus listrik yang dihitung menjadi daya listrik.

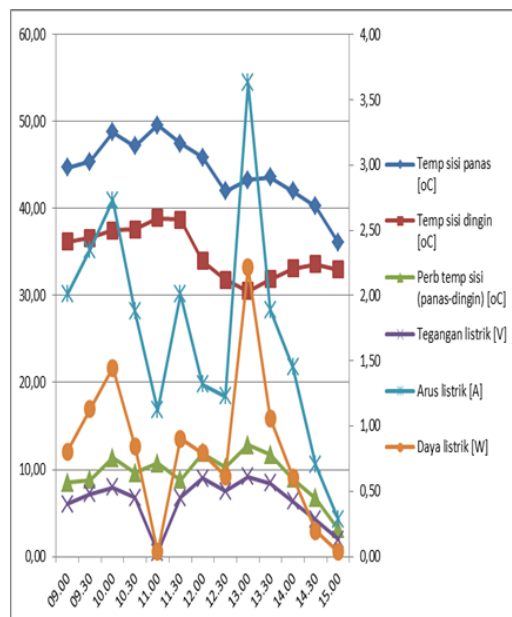
Untuk susunan sambungan seri, menghasilkan data yang ditampilan pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Hasil pengukuran susunan seri TEG

No.	Pukul	MASUKAN			LUARAN		
		T _{hot} [°C]	T _{cold} [°C]	ΔT _{TE} [°C]	V[V]	I [A]	P[W]
1	09.00	44,70	36,20	8,50	0,40	2,01	0,804
2	09.30	45,40	36,60	8,80	0,48	2,35	1,128
3	10.00	48,80	37,50	11,30	0,53	2,73	1,447
4	10.30	47,20	37,60	9,60	0,45	1,88	0,846
5	11.00	49,60	38,90	10,70	0,03	1,12	0,034
6	11.30	47,50	38,70	8,80	0,45	2,01	0,905
7	12.00	45,90	34,00	11,90	0,60	1,32	0,792
8	12.30	42,00	31,80	10,20	0,50	1,23	0,615
9	13.00	43,30	30,50	12,80	0,61	3,63	2,214
10	13.30	43,60	31,90	11,70	0,56	1,89	1,058
11	14.00	42,00	33,10	8,90	0,42	1,45	0,609
12	14.30	40,30	33,60	6,70	0,28	0,70	0,196
13	15.00	36,10	33,00	3,10	0,13	0,28	0,036
Maksimum		49,60	38,90	12,80	0,61	3,63	2,214
Minimum		36,10	30,50	3,10	0,03	0,28	0,034
Rata-rata		44,34	34,88	9,46	0,42	1,74	0,822

Pada tabel 1 di atas tampak bahwa, dengan perbedaan temperatur yang besar, yaitu 12,80°C menghasilkan daya yang terbesar, yakni 2,214 watt.

Untuk memperoleh korelasi temperatur dan daya luaran sistem generator termoelektrik pada susunan seri ini disajikan dalam gambar 2 di bawah ini, dalam bentuk grafik.



Gambar 2. Distribusi hasil pengukuran pada susunan seri TEG

Pada gambar 2 di atas bahwa perubahan temperatur sisi panas diikuti dengan temperatur sisi dingin, sehingga perbedaan temperatur kedua sisi mengikuti pola yang sama. Dengan demikian tampak perbedaan temperatur berkorelasi dengan tegangan listrik dan arus listrik yang dihasilkan menjadi daya listrik. Termoelektrik dapat mengubah panas menjadi energi listrik karena perbedaan temperatur[14]. Tegangan listrik dan arus listrik berkorelasi linear[9]. Perbedaan temperatur berkorelasi linier dengan daya listrik yang dihasilkan, sehingga dengan meningkatnya perbedaan temperatur akan meningkatkan daya luaran tersebut[14]. Pada susunan seri tampak arus listrik lebih mempengaruhi daya listrik dibandingkan tegangan listrik, jika dilihat dari pola grafik di atas.

Pada susunan termoelektrik yang disambungkan secara paralel, menghasilkan data pengukuran yang diolah sebagaimana yang disajikan pada tabel 2 di bawah ini.

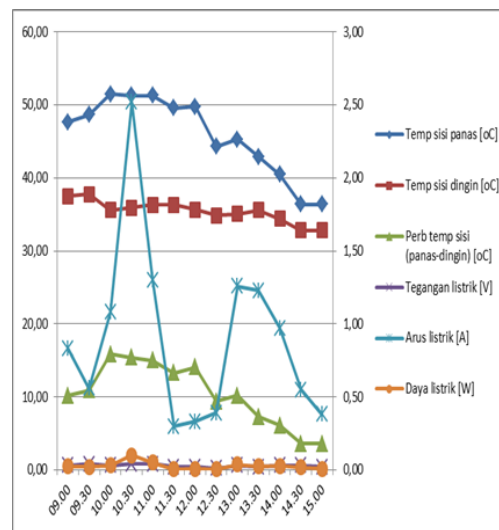
Tabel 2 Hasil pengukuran susunan paralel TEG

No.	Pukul	MASUKAN			LUARAN		
		T _{hot} [°C]	T _{cold} [K]	ΔT _{TE} [K]	V[V]	I [A]	P[W]
1	09.00	47,70	37,50	10,20	0,03	0,83	0,025
2	09.30	48,70	37,80	10,90	0,04	0,56	0,022
3	10.00	51,50	35,60	15,90	0,03	1,08	0,032
4	10.30	51,30	35,90	15,40	0,04	2,52	0,101
5	11.00	51,30	36,30	15,00	0,04	1,30	0,052
6	11.30	49,60	36,30	13,30	0,02	0,30	0,006
7	12.00	49,80	35,70	14,10	0,02	0,33	0,007
8	12.30	44,30	34,90	9,40	0,01	0,39	0,004
9	13.00	45,30	35,10	10,20	0,03	1,26	0,038
10	13.30	42,90	35,60	7,30	0,02	1,23	0,025
11	14.00	40,50	34,40	6,10	0,03	0,97	0,029
12	14.30	36,40	32,80	3,60	0,03	0,55	0,017
13	15.00	36,40	32,80	3,60	0,02	0,38	0,008
Maksimum		51,50	37,80	15,90	0,04	2,52	0,101
Minimum		36,40	32,80	3,60	0,01	0,30	0,004
Rata-rata		45,82	35,44	10,38	0,03	0,90	0,028

Tabel 2 memberikan informasi tentang data masukan dan luaran dari pengukuran TEG secara paralel. Tampak bahwa, dengan perbedaan temperatur yang masih tinggi menghasilkan daya luaran paling

besar. Perbedaan temperatur 15,4°C menghasilkan daya sebesar 0,101 watt. Perbedaan temperatur berhubungan linier dengan daya listrik yang dihasilkan, sehingga dengan meningkatnya perbedaan temperatur akan meningkatkan daya luaran tersebut[14].

Untuk lebih menjelaskan korelasi dengan beberapa variabel masukan dan luaran pada sambungan paralel TEG ini ditampilkan gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Distribusi hasil pengukuran pada susunan paralel TEG

Gambar 3 di atas memberikan deskripsi dengan hubungan antara besaran masukan terhadap besaran luaran pada sistem TEG yang disusun paralel. Dari gambar tampak bahwa perubahan pola antara temperatur sisi panas, temperatur sisi dingin, dan perbedaan temperatur kedua sisi masih dalam kecenderungan yang sejajar. Melalui perbedaan temperatur termoelektrik dapat mengubah panas menjadi listrik[14]. Dari susunan paralel ini daya listrik yang dihasilkan memiliki pola yang lebih sesuai dengan tegangan listrik dibanding arus listrik.

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian memberikan simpulan bahwa daya yang dihasilkan dari susunan seri lebih besar dibandingkan dengan

susunan paralel. Daya hasil susunan seri sebesar 2,214 watt, sedangkan hasil susunan paralel menghasilkan daya sebesar 0,101 watt. Hubungan perbedaan temperatur terhadap tegangan listrik, arus listrik, serta daya listrik adalah linier untuk kedua sistem susunan sambungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Contreras and S. Deb, "Solar energy overview," in *Fundamentals of Materials for Energy and Environmental Sustainability*, D. S. Ginley and D. Cahen, Eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2012, pp. 206–215.
- [2] Z. Şen, "Solar energy in progress and future research trends," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 30, no. 4, pp. 367–416, 2004.
- [3] F. M. Vanek and L. D. Albright, *Energy Systems Engineering Evaluation & Implementation*. United States: McGraw Hill, 2008.
- [4] J. T. Jarman, E. E. Khalil, and E. Khalaf, "Energy Analyses of Thermoelectric Renewable Energy Sources," *Open J. Energy Effic.*, vol. 02, no. 04, pp. 143–153, 2013.
- [5] W. He, J. Zhou, C. Chen, and J. Ji, "Experimental study and performance analysis of a thermoelectric cooling and heating system driven by a photovoltaic/thermal system in summer and winter operation modes," *Energy Convers. Manag.*, vol. 84, pp. 41–49, 2014.
- [6] N. S. Lewis, Ed., *Basic Research Needs for Solar Energy Utilization*. California: U.S. Department of Energy, 2005.
- [7] C. Liu, P. Chen, and K. Li, "A 500 W low-temperature thermoelectric generator: Design and experimental study," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 28, pp. 15497–15505, 2014.
- [8] R. Gaos, Yogi Sirodz, "Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC)," vol. 10, no. 1, pp. 34–40, 2019.
- [9] Y. T. Wang, W. Liu, A. W. Fan, and P. Li, "Performance comparison between series-connected and parallel-connected thermoelectric generator systems," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 327, no. June, pp. 327–331, 2013.
- [10] W. X. Terry M. Tritt, Xinfeng Tang, Qingjie Zhang, *Solar thermoelectrics: direct solar thermal energy conversion*, vol. 5, no. 4. New York: Materials Research Society, 2012.
- [11] A. Montecucco, J. Siviter, and A. R. Knox, "The effect of temperature mismatch on thermoelectric generators electrically connected in series and parallel," *Appl. Energy*, vol. 123, pp. 47–54, 2014.
- [12] A. V. da Rosa, *Fundamentals of Renewable Energy Processes*. Burlington: Elsevier Inc., 2005.
- [13] H. S. Lee, "The Thomson effect and the ideal equation on thermoelectric coolers," *Energy*, vol. 56, pp. 61–69, 2013.
- [14] V. Vedanayakam and P. Suvarna, "Study Of Thermoelectric Generator In Different Combinations Of Series And Parallel Configurations – Calculation Of Power And Efficiency," vol. 8, no. 7, pp. 30–34, 2018.
- [15] A. Polozine, S. Sirotinskaya, and L. Schaeffer, "History of development of thermoelectric materials for electric power generation and criteria of their quality," *Mater. Res.*, vol. 17, no. 5, pp. 1260–1267, 2014.
- [16] Rifky, "Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics System (PV) dan Thermoelectric Cooler (TEC)," Universitas Pancasila, 2020.