

Roofs and Walls of Buildings as a Media for Converting Solar Thermal Energy into Electrical Energy

Atap dan Dinding Bangunan sebagai Media Konverter Energi Termal Matahari menjadi Energi Listrik

Rifky¹, Agus Fikri^{2*}, Mohammad Mujirudin^{3*}

{_rifky@uhamka.ac.id 13830 Telp. +62-21- 8400941 Fax. +62-21-87782739 Website: www.uhamka.ac.id, E-mail: info@fthuhamka.ac.id}

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah, ³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA Jl. Tanah Merdeka no. 6 Rambutan Ciracas Jakarta Timur DKI Jakarta

Abstract. *Solar energy can be used by buildings. Parts of the building can convert solar thermal energy into electrical energy. The roof and walls are the parts of the building that receive the most sunlight. Therefore, the roof and walls of the building can supply electricity with the thermoelectric generator. The aim of this research is to get the maximum possible output power from the thermoelectric generator system. From the output power produced, it will be possible to find the feasibility of a thermoelectric generator to be used as an energy source for the roof and walls of the building model. The building model is designed simply where the roof and walls can be located a thermoelectric generator system, which consists of a heat sink, a thermoelectric circuit and a cooling system. The heat sink used is aluminum. The thermoelectric circuit consists of 15 sets which are assembled in a series connection arrangement. The cooling system used is active cooling, where water as the cooling fluid circulates continuously during the operation of the system. The thermoelectric hot side temperature is obtained from solar thermal radiation through a heat sink. Meanwhile, the temperature on the cold side of the thermoelectric is the result of the effect of the cooling system that is attached. The temperature difference between the hot and cold sides of the thermoelectric produces a system output in the form of electric voltage and electric current. This study obtain that the generator system on the roof with a temperature difference of 8.90 °C on the hot-cold side produces a power of 1.953 watts. While the generator system on the wall with a temperature difference between the hot-cold side of 1.80 °C produces a power of 0.030 watts.*

Keywords - energy, solar, thermoelectric, roof, wall

Abstrak. *Energi matahari dapat digunakan oleh gedung. Bagian bangunan dapat mengubah energi termal matahari menjadi energi listrik. Atap dan dinding merupakan bagian bangunan yang paling banyak menerima sinar matahari. Oleh karena itu, atap dan dinding bangunan dapat mensuplai listrik dengan generator termoelektrik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan daya luaran yang semaksimal mungkin dari sistem generator termoelektrik. Dari daya keluaran yang dihasilkan akan dapat diketahui kelayakan generator termoelektrik untuk digunakan sebagai sumber energi pada atap dan dinding model bangunan. Model bangunan dirancang sederhana dimana atap dan dinding dapat ditempatkan sistem generator termoelektrik, yang terdiri dari heat sink, rangkaian termoelektrik dan sistem pendingin. Heat sink yang digunakan adalah aluminium. Rangkaian termoelektrik terdiri dari 15 set yang dirangkai dalam susunan sambungan seri. Sistem pendingin yang digunakan adalah pendinginan aktif, dimana air sebagai fluida pendingin bersirkulasi secara terus menerus selama pengoperasian sistem. Temperatur sisi panas termoelektrik diperoleh dari radiasi panas matahari melalui heat sink. Sementara temperatur pada sisi dingin termoelektrik merupakan akibat dari pengaruh sistem pendingin yang dipasang. Perbedaan temperatur antara sisi panas dan dingin termoelektrik menghasilkan luaran sistem berupa tegangan listrik dan arus listrik. Dari penelitian ini didapatkan bahwa sistem pembangkit pada atap dengan perbedaan temperatur 8,90 °C pada sisi panas-dingin menghasilkan daya sebesar 1.953 watt. Sementara sistem generator pada dinding dengan selisih temperatur antara panas-dingin 1,80 °C menghasilkan daya sebesar 0,030 watt.*

Kata Kunci – energi, matahari, termoelektrik, atap, dinding

I. PENDAHULUAN

Energi surya adalah energi bersih [1] dan aman untuk dimanfaatkan. Pemanfaatan sederhana untuk menanam tanaman dan mengeringkan pakaian [2]. Besarnya energi surya yang diterima bumi, diperkirakan dalam 10 hari setara dengan kalor yang dilepaskan oleh seluruh pembakaran semua cadangan bahan bakar fosil [1]. Intensitas radiasi rata-rata per hari sebesar 4 kWh/m^2 [3]. Dalam waktu satu menit bumi menerima energi surya lebih besar dari pemanfaatan energi oleh seluruh populasi yang ada di bumi [1]. Dengan demikian pemanfaatan energi surya adalah solusi yang tepat sekaligus sadar lingkungan terhadap permintaan energi yang terus meningkat [4].

Sinar matahari yang mencapai atmosfer luar mengalami proses penyerapan, refleksi dan transmisi [3], [1] serta faktor kelembaban, polusi, atau partikel lain di atmosfer [3] sebelum mencapai permukaan bumi [1]. Sementara untuk mencapai lokasi tertentu dipengaruhi perubahan cuaca dan hilangnya di malam hari serta bervariasi selama sehari, selama setahun, dan sebagai fungsi garis lintang [3].

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 [1].

Sebagian besar teknologi pembangkit listrik termal saat ini harus terlebih dahulu mengubah energi termal menjadi pekerjaan mekanik sebelum menghasilkan listrik [5]. Sementara generator termoelektrik mengkonversi langsung menjadi energi listrik.

Pada prinsipnya, generator termoelektrik menghasilkan tenaga listrik dengan cara yang sangat efisien dari panas yang diberikan iradiasi matahari [6]. Namun, diperlukan upaya untuk mendapatkan daya luaran semaksimal mungkin, yang kemudian dapat ditemukan kelayakan generator termoelektrik untuk dijadikan sumber energi pada atap dan dinding model bangunan.

II. METODE

Teknologi panas matahari cukup beragam dalam hal karakteristik operasional dan aplikasinya — mencakup teknologi yang cukup sederhana seperti pengeringan tanaman hasil pertanian, pemanasan ruang bangunan perumahan dan komersil, pemanasan air, menanam tanaman dalam rumah kaca, produksi garam dari penguapan air laut, memasak makanan, dan mengendarai mesin kalor dalam siklus tenaga [7] pemanas ruang matahari dan kompor matahari serta peralatan yang rumit dan canggih seperti pendingin udara matahari dan pembangkit listrik tenaga surya [8].

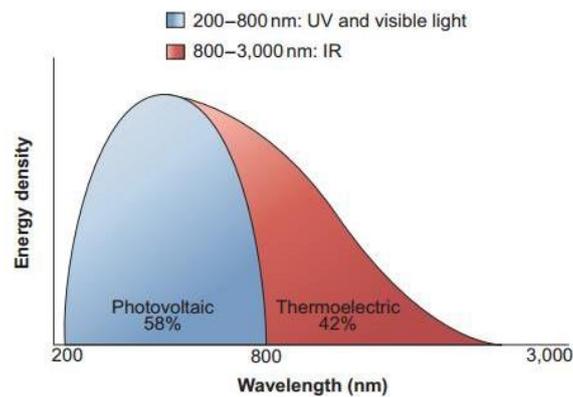
Teknologi panas matahari memanfaatkan komponen panjang gelombang radiasi matahari. Berdasarkan temperatur kerja diklasifikasikan ke dalam tiga jenis berikut [4], [8]:

1. Teknologi temperatur rendah (temperatur kerja $< 70^\circ\text{C}$) — pemanasan ruang surya, kolam tenaga surya, pemanas air tenaga surya, dan pengeringan tanaman surya.
2. Teknologi temperatur sedang ($70^\circ\text{C} < \text{temperatur kerja} < 200^\circ\text{C}$) — distilasi surya, pendinginan dengan matahari, dan pemasakan dengan matahari.
3. Teknologi temperatur tinggi (temperatur kerja $> 200^\circ\text{C}$) — teknologi pembangkit listrik tenaga termal seperti palung parabola, menara surya, dan parabola..

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 [9]. Istilah termoelektrik terdiri dari pengertian yang berkaitan dengan termal dan listrik. Termoelektrik dapat mengkonversi energi termal menjadi energi listrik secara langsung. Sementara material termoelektrik sendiri didasari gejala yang sama dengan material termokopel. [10].

Teknologi termoelektrik berbeda dengan teknologi fotovoltaik. Teknologi fotovoltaik menggunakan gelombang ultraviolet dari spektrum matahari menjadi listrik [6], dimana memanfaatkan foton dengan energi lebih tinggi dari energi celah pita dari bahan penyerapnya [4]. Untuk teknologi termoelektrik, mengkonversi langsung energi termal dari rentang infra merah menjadi listrik [6], [9], [4].

Perbedaan rentang panjang gelombang yang dibutuhkan teknologi fotovoltaik dan teknologi termoelektrik, diperlihatkan pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Spektrum UV dan IR yang dibutuhkan PV dan TE [9], [6]

Menurut proses konversi energi yang terjadi, termoelektrik dapat berfungsi sebagai generator (TEG) atau pendingin (TEC), dimana TEG bekerja dengan prinsip efek Seebeck sedangkan TEC beroperasi dengan dasar efek Peltier.

Generator termoelektrik yang bekerja dengan prinsip efek Seebeck, membutuhkan perbedaan temperatur antara sisi panas dengan sisi dingin termoelektrik untuk menghasilkan perbedaan potensial listrik. Pada sisi panas diberikan kalor, sedang pada sisi dingin adanya penyerapan kalor sehingga menjadi dingin [11]. Besarnya perbedaan temperatur ini menentukan besarnya perbedaan tegangan dan arah aliran panas menentukan polaritas tegangan [12].

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 [9]. Sifat efek termoelektrik ditentukan oleh kinerja material termoelektrik dan efisiensi material termoelektrik tunggal.

Teknologi termoelektrik surya dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas lingkungan dalam ruangan dan menghemat konsumsi energi bangunan [9]. Untuk mencapainya maka bangunan harus dapat menghasilkan energi sendiri yang ramah lingkungan dengan generator termoelektrik. Bagi generator termoelektrik harus mampu menghasilkan daya luaran yang besar.

Untuk menghasilkan daya luaran yang besar generator termoelektrik memerlukan sejumlah modul termoelektrik yang disusun sedemikian rupa. Koneksi antar modul termoelektrik sangat penting untuk kinerja sistem daya termoelektrik [13].

Konverter dalam penelitian ini merupakan sistem TEG yang tersusun dari penyerap panas pelat aluminium, rangkaian termoelektrik sejumlah 15 set yang disambungkan secara seri, serta sistem pendingin aktif yang terbuat dari aluminium yang dialiri air sebagai fluida pendingin.

Sistem TEG ditempatkan pada atap dan dinding pada rangka model bangunan yang dihadapkan ke arah Bergeraknya sinar matahari. Radiasi termal matahari akan memanaskan penyerap panas pelat aluminium yang memberi efek pemanasan sisi panas termoelektrik. Di sisi sebelah bawah atau dalamnya sistem pendingin memberi efek pendinginan pada sisi dingin termoelektrik. Perbedaan temperatur sisi panas antara kedua sisi termoelektrik akan menghasilkan luaran berupa tegangan listrik dan arus listrik.

Konverter dioperasikan sepanjang siang hari dari pukul 09.30 sampai 16.00 WIB dengan rentang setiap 30 menit dilakukan pengambilan data, baik data masukan maupun data luaran.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

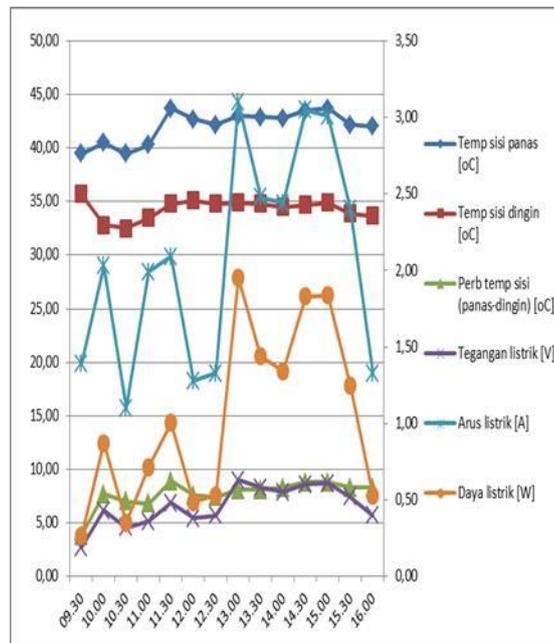
Hasil penelitian yang diperoleh adalah data pengukuran pada parameter masukan dan luaran. Data posisi atap yang sudah diolah diperlihatkan pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Parameter masukan dan luaran untuk posisi Atap

No.	Pukul	MASUKAN			LUARAN		
		T _{hot} [°C]	T _{cold} [°C]	ΔT _{TE} [°C]	V [V]	I [A]	P [W]
1	09.30	39,50	35,70	3,80	0,19	1,39	0,264
2	10.00	40,50	32,80	7,70	0,43	2,03	0,873
3	10.30	39,50	32,50	7,00	0,32	1,10	0,352
4	11.00	40,30	33,50	6,80	0,36	1,99	0,716
5	11.30	43,70	34,80	8,90	0,48	2,09	1,003
6	12.00	42,70	35,10	7,60	0,38	1,28	0,486
7	12.30	42,20	34,80	7,40	0,40	1,33	0,532
8	13.00	43,00	34,90	8,10	0,63	3,10	1,953
9	13.30	42,90	34,80	8,10	0,58	2,48	1,438
10	14.00	42,80	34,50	8,30	0,55	2,44	1,342
11	14.30	43,50	34,70	8,80	0,60	3,05	1,830
12	15.00	43,70	34,90	8,80	0,61	3,01	1,836
13	15.30	42,20	33,90	8,30	0,52	2,40	1,248
14	16.00	42,00	33,70	8,30	0,40	1,33	0,532
Maksimum		43,70	35,70	8,90	0,63	3,10	1,953
Minimum		39,50	32,50	3,80	0,19	1,10	0,264
Rata-rata		42,04	34,33	7,71	0,46	2,07	1,029

Dari tabel 1 di atas tampak bahwa perbedaan temperatur terbesar yaitu 8,9 °C menghasilkan daya luaran terbesar, yakni 1,953 watt. Perbedaan temperatur berkorelasi linier dengan daya listrik yang dihasilkan, sehingga dengan meningkatnya perbedaan temperatur akan meningkatkan daya luaran tersebut [14].

Untuk menjelaskan hubungan antar variabel data pada tabel 1 di atas, maka disajikan grafik pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2 Distribusi hasil pengukuran TEG yang dipasang pada Atap

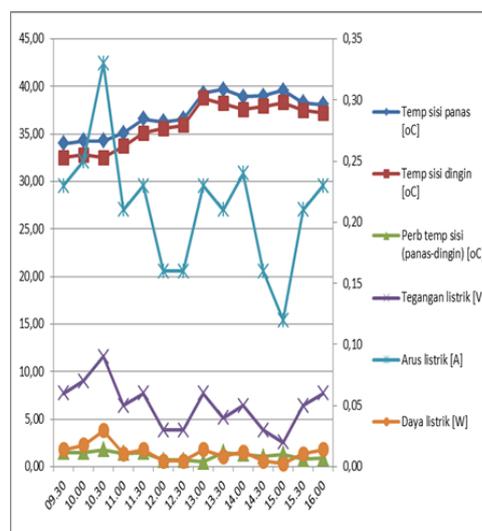
Dari gambar 2 di atas dapat dipahami, temperatur sisi panas, temperatur sisi dingin, dan perbedaan temperatur kedua sisi memperlihatkan bentuk pola yang sama tergantung penerimaan radiasi termal yang diterima penyerap panas pelat aluminium. Perbedaan temperatur ini menghasilkan luaran sistem berupa besaran listrik, yakni tegangan dan kuat arus. Sistem TEG mengubah termal menjadi listrik karena perbedaan temperatur [14]. Gambar juga menunjukkan grafik tegangan dan arus yang saling berkorelasi linier [13], sehingga dapat dijelaskan perbedaan temperatur juga berkorelasi linier dengan daya luaran [14].

Pada sistem TEG yang ditempatkan pada posisi dinding menghasilkan data-data hasil pengukuran. Data yang sudah diolah, baik data masukan ke sistem ataupun luaran dari sistem, ditampilkan pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Parameter masukan dan luaran untuk posisi Dinding

No.	Pukul	MASUKAN			LUARAN		
		T_{hot} [°C]	T_{cold} [°C]	ΔT_{TE} [°C]	V[V]	I [A]	P [W]
1	09.30	34,00	32,50	1,50	0,06	0,23	0,014
2	10.00	34,30	32,80	1,50	0,07	0,25	0,018
3	10.30	34,30	32,50	1,80	0,09	0,33	0,030
4	11.00	35,10	33,70	1,40	0,05	0,21	0,011
5	11.30	36,60	35,10	1,50	0,06	0,23	0,014
6	12.00	36,30	35,60	0,70	0,03	0,16	0,005
7	12.30	36,60	35,90	0,70	0,03	0,16	0,005
8	13.00	39,30	38,80	0,50	0,06	0,23	0,014
9	13.30	39,70	38,20	1,50	0,04	0,21	0,008
10	14.00	38,90	37,60	1,30	0,05	0,24	0,012
11	14.30	39,00	37,90	1,10	0,03	0,16	0,005
12	15.00	39,60	38,30	1,30	0,02	0,12	0,002
13	15.30	38,30	37,50	0,80	0,05	0,21	0,011
14	16.00	38,10	37,20	0,90	0,06	0,23	0,014
Maksimum		39,70	38,80	1,80	0,09	0,33	0,030
Minimum		34,00	32,50	0,50	0,02	0,12	0,002
Rata-rata		37,15	35,97	1,18	0,05	0,21	0,011

Tabel 2 di atas memberikan informasi bahwa perbedaan temperatur maksimum (1,8 °C) menghasilkan daya luaran maksimum (0,03 watt). Perbedaan linier berkorelasi linier dengan daya luaran [14]. Sebagai tindak lanjut penjelasan data-data di atas, maka mengolahnya menjadi grafik memberikan informasi yang lebih banyak. Grafik yang dimaksud adalah gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3 Distribusi hasil pengukuran TEG yang dipasang pada Dinding

Gambar 3 menampilkan grafik temperatur sisi panas, temperatur sisi dingin, dan perubahan temperatur berkorelasi linier. Demikian pula halnya antara tegangan listrik dan arus listrik [14] serta berujung pada kelinieran dengan daya listrik. Oleh karena itu perubahan temperatur yang menyebabkan perubahan daya listrik [13].

IV. KESIMPULAN

Dari penempatan sistem TEG di atap dan di dinding besaran temperatur berkorelasi linier dengan besaran listrik. Selain itu, daya luaran yang dihasilkan sistem TEG yang ditempatkan di atas mencapai 1,953 watt, sedangkan sistem TEG yang ditempatkan pada dinding menghasilkan daya luaran 0,030 watt.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Lembaga Penelitian dan Pengembangan UHAMKA sebagai penyandang dana.

REFERENSI

- [1] Z. Şen, "Solar energy in progress and future research trends," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 30, no. 4, pp. 367–416, 2004.
- [2] S. A. Kalogirou, *Solar thermal collectors and applications*, vol. 30, no. 3. 2004.
- [3] F. M. Vanek and L. D. Albright, *Energy Systems Engineering Evaluation & Implementation*. United States: McGraw Hill, 2008.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] and 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.
- [7] I. Dincer and A. Midilli, "Green Energy," in *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology*, B. L. Capehart, Ed. Boca Raton: CRC Press, 2007, pp. 771–786.
- [8] M. A. Rosen, "Natural Energy versus Additional Energy," in *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology*, B. L. Capehart, Ed. Boca Raton: CRC Press, 2007, pp. 1088–1110.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Rifky, "Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics System (PV) dan Thermoelectric Cooler (TEC)," Universitas Pancasila, 2020.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [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.