



METALIK

JURNAL MANUFAKTUR, ENERGI, MATERIAL TEKNIK



ISSN 2828-3899



772828 389001

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA

METALIK

Vol: 3

No: 1

PAGE
1-37

3/24

E-ISSN:
2828-3899

Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik

Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik Vol 3 No 1; Mach 2024

Susunan Team Editor
METALIK : Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik

PENANGGUNG JAWAB:

Delvis Agusman S.T., M.Sc. (Ketua Program Studi Teknik Mesin UHAMKA)

KETUA EDITOR:
Yos Nofendri, S.Pd., MSME

DEWAN EDITOR:
Rifky, S.T. M.M.
Drs. Mohammad Yusuf D., M.T.
Agus Fikri S.T., M.T.
Pancatatva Hesti Gunawan, S.T., M.T.

MITRA BESTARI:
Prof. Dr. Erry Yulian Triblas Adesta (International Islamic University Malaysia)
Prof. Dr. Muhamad Yahya, M.Sc. (Institut Teknologi Padang)
Dr. Gusri Ahyar Ibrahim, M.T. (Universitas Lampung)
Dr. Yovial, M.T. (Universitas Bung Hatta)
Dr. Dan Mugisidi S.T., M.Si. (Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka)

ADMINISTRASI:
Herman

PENERBIT:
FT-UHAMKA Press
Fakultas Teknik – Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah PROF. DR. HAMKA
Telepon: +62-21-7873711 / +62-21-7270133
Email: jurnal.metalik@uhamka.ac.id
Website: <https://journal.uhamka.ac.id/index.php/metalik/index>

Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik

Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik Vol 3 No 1; Mach 2024

Daftar Isi

No	Judul / Penulis	Hal
1	Analisis Penyebab Kerusakan CDI Pada Mesin Motor Beat 110CC. Bayu Hamengku Rizkiansyah, Wilarso, Hilman Sholih, Aswin Domodite, Awang Surya	1-4
2	Analisis Perpindahan Panas Terhadap Penurunan Suhu Air Panas Pada Gelas Dengan Material Yang Berbeda. Ilman nadif filsafah, Wilarso, Asep Saepudin, Asep Dharmanto	5-9
3	Kajian Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Serat Kulit Kayu Balik Angin (Mallotus Paniculatus) Dodo Solyus Prayoga1, Yovial Mahjoedin*, Wenny Marthiana, Iqbal	10-13
4	Pendayagunaan Energi Matahari sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Menggunakan Generator Termoelektrik Rifky, Yos Nofendri	14-20
5	Analisa Sifat Mekanis Komposit Serat Pelepah Pisang Kepok dan Talk dengan Matriks Polyester untuk Aplikasi Helm SNI Dio Helmiansyah, Agus Fikri, Mohammad Mujirudin, Arry Avorizano	21-26
6	Pengaruh Penggunaan Pengaduk Pada Alat Pengering Gabah Terhadap Waktu Pengeringan Dan Kualitas Gabah Dicky Syahril Ardiansyah, Yos Nofendri	27-37



Jurnal Artikel

Pendayagunaan Energi Matahari sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Menggunakan Generator Termoelektrik

Rifky^{1*}, Yos Nofendri²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

*Corresponding author: rifky@uhamka

Artikel Info - : Received : 20 Feb 2024

; Revised : 25 Mach 2024

; Accepted: 30 Mach 2024

Abstrak

Background: Energi surya adalah energi terbarukan yang potensinya besar untuk dimanfaatkan. Bentuk energi surya yang telah lama dimanfaatkan manusia adalah energi termalnya. Mulai dari pengering hasil bumi, perikanan, sampai pemanas air. Sementara termoelektrik adalah material yang berbentuk modul yang dapat mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Kedua hal inilah yang dipadukan dalam penelitian ini. Penelitian memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi listrik menggunakan generator termoelektrik. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan daya luaran semaksimal mungkin dari sistem generator termoelektrik yang susunan modulnya dirangkai dengan sambungan seri dan paralel. Dari daya luaran yang dihasilkan akan didapatkan kelayakan generator termoelektrik untuk dijadikan sumber energi pada model bangunan. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental, yang didahului dengan perancangan dan pembuatan alat penelitian. Model bangunan dirancang sederhana yang berupa kerangka dengan atapnya adalah sistem generator termoelektrik. Variabel dalam penelitian ini adalah susunan rangkaian sambungan modul termoelektrik secara seri dan secara paralel. Data masukan generator termoelektrik adalah intensitas radiasi, kelembaban udara, temperatur (lingkungan, penyerap panas, sisi panas termoelektrik, sisi dingin termoelektrik, sistem pendingin, air pendingin), dan aliran alir; sedangkan data luarannya adalah tegangan listrik dan arus listrik. Hasil penelitian mendapatkan bahwa sistem generator pada atap model bangunan dengan susunan modul termoelektrik dengan rangkaian sambungan seri menghasilkan daya sebesar 1,029 watt. Sementara sistem generator termoelektrik untuk sambungan modul termoelektrik dengan rangkaian sambungan paralel menghasilkan daya sebesar 0,028 watt.

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

Abstract

Background: Solar energy is a renewable energy that has great potential to be utilized. The form of solar energy that humans have long used is thermal energy. Starting from drying agricultural products, fisheries, to water heaters. Meanwhile, thermoelectrics are materials in the form of modules that can convert temperature differences into electrical energy. These two things are combined in this research. Research utilizes solar energy as a source of electrical energy using a thermoelectric generator. The aim of this research is to obtain the maximum possible output power from a thermoelectric generator system whose modules are assembled using series and parallel connections. From the resulting output power, the suitability of the thermoelectric generator will be obtained to be used as an energy source in building models. The research method used is experimental, which is preceded by designing and manufacturing research tools. The building model is designed simply in the form of a frame with a thermoelectric generator system on the roof. The variables in this research are the arrangement of thermoelectric module connection circuits in series and in parallel. The input data of the thermoelectric generator are radiation intensity, air humidity, temperature (environment, heat absorber, thermoelectric hot side, thermoelectric cold side, cooling system, cooling water), and flow rate; while the output data is electric voltage and electric current. The research results showed that the generator system on the roof of the building model with a thermoelectric module arrangement with a series connection produced 1,029 watts of power. Meanwhile, the thermoelectric generator system for connecting thermoelectric modules with a parallel connection circuit produces 0.028 watts of power.

Keywords: energy, solar, thermoelectric, generator, roof



Pendahuluan

Pada dasarnya semua energi yang digunakan di bumi berasal dari matahari. Matahari merupakan sumber dari beberapa bentuk energi lain di planet ini, seperti: tenaga angin tergantung pada dampak matahari pada gerakan atmosfer ketika menciptakan pola angin; melalui fotosintesis, matahari berkontribusi pada bioenergi (kayu dan bahan organik lainnya); dan bahan bakar fosil secara tidak langsung berhutang atas kreasi jutaan tahun yang lalu menjadi sumber energi (Asif & Muneer, 2010). Selain sebagai sumber energi terbarukan, matahari termasuk sumber energi yang bersih dan hijau. Energi hijau didefinisikan sebagai sumber energi yang memiliki nol atau minimal dampak lingkungan, lebih ramah lingkungan dan lebih berkelanjutan, dan diproduksi dari energi surya, air, biomassa, angin, dan panas bumi, dan lain-lain (Dincer & Midilli, 2007).

Listrik dapat dibuat oleh tenaga nuklir atau panas matahari dengan turbin uap, sementara fotovoltaik menghasilkan elektron secara langsung. Biomassa dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair seperti etanol melalui fermentasi atau dengan gasifikasi diikuti dengan sintesis bahan bakar. Hidrogen dapat dibuat dengan elektrolisis atau dengan gasifikasi biomassa. Elektron dapat diangkut oleh grid ke pengguna atau dikonversi menjadi hidrogen. Hidrogen dalam tangki (atau berbagai bahan penyimpanan) atau elektron dalam baterai dapat disimpan pada kendaraan dan kemudian dikonversi menjadi listrik oleh sel bahan bakar atau dibakar langsung di mesin pembakaran dalam (Franklin M. Orr & Benson, 2012).

Energi matahari dapat dikumpulkan sebagai panas dan digunakan untuk proses termal seperti pemanasan ruang dan air atau terkonsentrasi untuk digunakan dalam pemanasan temperatur tinggi dan pembangkit listrik termal (Rosen, 2007). Teknologi panas matahari memanfaatkan energi panas dari matahari untuk berbagai tujuan. 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 (Dincer & Midilli, 2007).

Termoelektrik secara langsung dapat mengubah energi termal menjadi energi listrik (Lee, 2010). Sistem ini bermula pada fenomena material yang memiliki perilaku seperti

halnya pada termokopel (Nolas et al., 2001). Termoelektrik berfungsi sebagai pembangkit atau generator dengan mengkonversi langsung energi panas menjadi tenaga listrik. Energi panas dapat diperoleh dengan memanfaatkan panas matahari. Dengan demikian generator termoelektrik dapat menjadi konverter energi surya.

Generator termoelektrik menghasilkan tenaga listrik dengan cara yang sangat efisien dari panas yang diberikan iradiasi matahari (Terry M. Tritt, Xinfeng Tang, Qingjie Zhang, 2012). Namun, masih diperlukan inovasi untuk mendapatkan daya luaran dan efisiensi yang lebih besar, sehingga generator termoelektrik menjadi layak untuk dijadikan sumber energi yang memanfaatkan energi surya.

Daya listrik luaran dan efisiensi yang dihasilkan generator termoelektrik ditentukan oleh perbedaan temperatur yang besar antara sisi panas dan sisi dingin termoelektrik. Oleh karena itu untuk menjadikan generator termoelektrik sebagai konverter energi yang dapat memperoleh daya listrik yang besar diperlukan penyusunan sambungan rangkaian termoelektrik yang sesuai. Berdasarkan hal tersebut, maka rumusan masalahnya adalah sebagai berikut, bagaimana pengaruh sambungan seri dari susunan termoelektrik terhadap daya luaran yang dihasilkan serta bagaimana pengaruh sambungan paralel dari susunan termoelektrik terhadap daya luaran yang dihasilkan.

Penelitian tentang generator termoelektrik yang memanfaatkan energi surya menjadi tenaga listrik ini memiliki tujuan sebagai berikut, untuk mendapatkan daya luaran yang maksimal dari generator termoelektrik yang dirangkai secara sambungan seri, serta untuk mendapatkan daya luaran yang maksimal dari generator termoelektrik yang dirangkai secara sambungan paralel.

Sistem pembangkit listrik tenaga surya memiliki tiga elemen penting yang diperlukan untuk menghasilkan listrik: konsentrator (untuk mengumpulkan dan memfokuskan radiasi matahari), penerima (untuk mengubah radiasi matahari pekat menjadi panas), dan siklus mesin (untuk menghasilkan listrik) (Asif & Muneer, 2010).

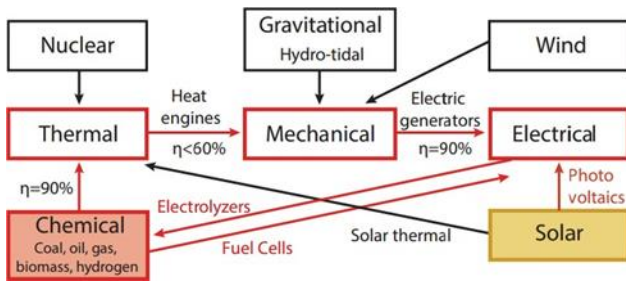
Dalam perangkat pembangkit listrik termoelektrik, aliran panas difusif dan efek Peltier adalah aditif. Keduanya mengurangi gradien temperatur yang dikenakan. Penurunan tegangan resistif perangkat juga mengurangi tegangan yang tersedia dari efek Seebeck (Nolas et al., 2001).

Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan 15 modul termoelektrik yang disusun dengan pola rangkaian sambungan seri dan paralel untuk menghasilkan perbedaan temperatur yang

besar. Perbedaan temperatur yang besar diperoleh dari temperature pada sisi panas termoelektrik yang dihadapkan ke radiasi sinar matahari, sedangkan sisi dinginnya dilekatkan sistem pendingin. Susunan rangkaian sambungan modul termoelektrik menentukan besarnya arus listrik yang dapat dipasok ke rangkaian listrik eksternal.

Pada penelitian ini digunakan modul termoelektrik yang sisi panasnya dilekatkan aluminium untuk penghantar panas matahari. Sementara sisi dinginnya ditempelkan sistem pendingin aktif dengan media berupa fluida air. Susunan pelat aluminium, modul termoelektrik, dan sistem pendingin merupakan sebuah sistem generator termoelektrik. Di dalam generator sebanyak 15 modul termoelektrik disusun dengan pola rangkaian sambungan seri dan paralel untuk mendapatkan daya luaran sebesar mungkin. Generator ini ditempatkan pada atap model bangunan yang diharapkan dapat menjadi bagian bangunan yang menghemat konsumsi energi bangunan.

Proses pengubahan energi panas matahari menjadi energy listrik dengan media termoelektrik adalah salah satu bentuk konversi energy. Berbagai konversi energi dapat digunakan untuk masing-masing kebutuhan manusia. Konversi energi untuk sumber yang berbeda dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini (Jager et al., 2014).



Gambar 1 Jenis pembawa energi dan konversinya

Dari gambar 1 di atas tampak bahwa konversi energi termal menjadi energi listrik memerlukan tahapan lebih dulu, yakni energi termal diubah menjadi energi mekanik kemudian energi mekanik diubah menjadi energi listrik. Terlepas sumber energi termal darimanapun pengubahan itu tidak dapat langsung. Energi surya, energy kimia dan energi nuklir menjadi sumber energi termal. Ada hal yang menarik bahwa energy surya dapat dikonversi langsung menjadi energi listrik dengan sistem fotovoltaiik. Namun, perlu diingat bahwa energi cahaya yang membawa foton yang menjadi sumbernya. Sementara untuk konversi energi termal secara langsung menjadi listrik melalui modul termoelektrik dengan sumber energi termal berupa pancaran panas baik panas matahari, panas buang dari sebuah sistem, ataupun sumber paparan panas yang lain.

Ada tiga jenis teknologi panas matahari terkonsentrasi yaitu palung parabola surya, penerima pusat surya, dan piringan parabola surya. Ketiga teknologi ini digunakan untuk memproduksi kalor atau listrik. Sistemnya menggunakan lensa atau kaca serta sistem penjejukan yang memfokuskan sinar matahari menjadi terkonsentrasi dan digunakan sebagai sumber panas untuk pembangkit tenaga (solar thermoelectricity) (Lewis, 2005).

Pada prinsipnya modul termoelektrik terdiri dari dua peranti, yaitu modul yang berfungsi generator disebut thermoelectric generator (TEG) dan modul yang dapat dimanfaatkan sebagai pendingin disebut thermoelectric cooler (TEC), dimana TEG bekerja dengan prinsip efek Seebeck sedangkan TEC beroperasi dengan dasar efek Peltier. Generator termoelektrik bekerja dengan prinsip efek Seebeck, dimana adanya perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin pada modul termoelektrik akan menghasilkan perbedaan potensial listrik. Sebaliknya, jika modul termoelektrik dipasok tenaga listrik dan

pada sisi panas diberikan kalor, maka pada sisi dinginnya terjadi penyerapan kalor sehingga menjadi ruang sekitar menjadi lebih dingin. Dalam kondisi inilah modul termoelektrik disebut sebagai pendingin termoelektrik (Rifky, 2020).

Metode

Penelitian pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi listrik menggunakan generator termoelektrik ini menggunakan metode eksperimental yang sebelumnya dilakukan perancangan dan pembuatan alat.

Penelitian pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi listrik menggunakan generator termoelektrik ini menggunakan metode eksperimental yang sebelumnya dilakukan perancangan dan pembuatan alat.

Desain penelitian yang digunakan pada penelitian tentang pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi listrik menggunakan generator termoelektrik ini dapat diuraikan terdiri dari, persiapan material dan komponen, perancangan dan pembuatan alat., dan penelitian eksperimental. Penelitian eksperimental dilakukan dengan melalui tahapan sebagai berikut, yaitu, melakukan eksperimentasi, melakukan pengujian, pengambilan data, pengolahan data, dan analisis data.

Data yang dikumpulkan diperoleh dengan cara mengukur dari masukan dan luaran dari sistem yang dioperasikan. Dalam penelitian ini, data yang dihasilkan terdiri dari, data masukan ke sistem generator termoelektrik, yaitu: kelembababan udara, kecepatan angin, temperatur penyerap panas, temperatur sisi panas termoelektrik, temperatur sisi dingin termoelektrik, temperatur air masuk ke sistem pendingin, temperatur air keluar dari sistem pendingin, temperatur air dalam bak, dan laju alir air pendingin. Sementara data luaran dari generator termoelektrik adalah tegangan listrik dan arus listrik.

Untuk memperoleh data masukan masing-masing besaran diukur oleh alat ukur tersendiri, sedangkan untuk data luaran digunakan alat ukur listrik (voltmeter dan amperemeter).

Instrumen yang digunakan selama penelitian sebagai berikut, rangkaian termoelektrik dua set yang masing-masing terdiri dari 15 modul termoelektrik tipe TEC-1 12076 yang modul termoelektriknya tersusun seri dan paralel, sistem pendingin (terbuat dari aluminium) sebanyak 2 set, pelat aluminium 2 lembar yang ditempatkan di muka rangkaian termoelektrik, berfungsi sebagai penyerap panas yang meneruskan panas ke sisi panas termoelektrik, anemometer berfungsi sebagai pengukur kecepatan angin, multimeter berfungsi sebagai alat ukur tegangan dan arus, termometer digital berfungsi sebagai alat ukur temperatur, flow meter

berfungsi sebagai alat ukur debit air, higrometer berfungsi sebagai alat ukur kelembaban udara, pompa air, dan kontainer, sebagai bak penampung air.

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran alat diolah dengan memasukkannya dalam perhitungan, yang kemudian ditabulasi dan dibuatkan grafik.

Desain penelitian ini menggunakan dua parameter sekaligus yaitu: sistem generator termoelektrik dengan susunan rangkaian sambungan seri, dan sistem generator termoelektrik dengan susunan rangkaian sambungan paralel.

Indikator capaian hasil penelitian: generator termoelektrik dengan susunan rangkaian sambungan seri dan paralel menghasilkan daya luaran yang berbeda.

Hasil

Penelitian pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi listrik menggunakan generator termoelektrik ini merupakan bagian dari penelitian energi surya. Energi surya minimal mempunyai dua kajian dalam penelitian yaitu energi cahaya surya yang memanfaatkan foton untuk dikonveksi langsung menjadi tenaga listrik menggunakan sistem fotovoltaik dan energi termal surya yang dimanfaatkan dalam berbagai sistem.

Penelitian ini memanfaatkan energi termal surya secara langsung menjadi energi listrik dengan menggunakan modul termoelektrik sebagai generator. Generator termoelektrik adalah sistem termoelektrik yang terdiri dari penyerap panas pelat aluminium, modul termoelektrik, dan sistem

pendingin. Modul termoelektrik sebanyak 15 buah disusun dengan rangkaian seri atau paralel sebagai parameter penelitian. Pada sisi panas modul dilekatkan penyerap panas pelat aluminium yang akan dihadapkan arah datangnya panas matahari. Pada sisi dingin modul termoelektrik ditempelkan sistem pendingin aktif, dimana fluida pendingin air mengalir terus menerus bersirkulasi. Generator termoelektrik dipasang pada atap rangka model bangun.

Pemakaian sistem generator termoelektrik pada bagian atap bangunan dapat menjadikannya sebagai bagian dari fungsi atau struktur bangunan yang terintegrasi. Dismaping itu generator termoelektrik dapat memberi kontribusi pada bangunan untuk memproduksi energi yang diharapkan pada bangunan terjadi surplus energi atau minimal mencapai keseimbangan nol.

Penelitian diawali dengan pembuatan rangka sebagai model bangunan untuk menempatkan sistem generator termoelektrik.

Dari generator termoelektrik dilakukan pengukuran besaran masukan dan luaran dari sistem generator. Untuk parameter sambungan modul termoelektrik, hasil penelitian berupa data pengukuran diperlihatkan pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Hasil pengukuran generator dengan sambungan seri

No.	Pukul	DATA MASUKAN											DATA LUARAN		
		Kelembaban Udara Dry bulb	Wet bulb	v[m/s]	T _L [°C]	T _{TEC(A)} [°C]	T _{TEC(B)} [°C]	T _P [°C]	T _(in) [°C]	T _(out) [°C]	T _(bak) [°C]	Qw[LPM]	V[V]	I[A]	P [W]
1	09.30	30	25	0,70	30,20	39,50	35,70	31,50	31,90	31,10	31,90	2,30	0,19	1,39	0,264
2	10.00	30	25	0,40	30,60	40,50	32,80	30,90	31,50	31,00	31,50	2,30	0,43	2,03	0,873
3	10.30	30	22	2,30	31,60	39,50	32,50	31,80	32,00	31,50	32,00	2,30	0,32	1,10	0,352
4	11.00	30	22	0,90	31,30	40,30	33,50	32,50	32,50	32,40	32,50	2,30	0,36	1,99	0,716
5	11.30	30	25	2,30	33,20	43,70	34,80	33,90	30,80	33,60	30,80	2,30	0,48	2,09	1,003
6	12.00	30	25	1,90	33,70	42,70	35,10	34,50	31,70	30,50	31,70	2,30	0,38	1,28	0,486
7	12.30	30	25	1,80	33,50	42,20	34,80	34,10	30,50	29,90	30,50	2,30	0,40	1,33	0,532
8	13.00	30	25	1,60	34,10	43,00	34,90	34,30	30,80	29,90	30,80	2,30	0,63	3,10	1,953
9	13.30	30	22	2,20	33,90	42,90	34,80	34,30	31,10	29,50	31,10	2,30	0,58	2,48	1,438
10	14.00	30	22	2,80	33,50	42,80	34,50	34,40	31,30	30,20	31,30	2,30	0,55	2,44	1,342
11	14.30	30	22	8,00	33,90	43,50	34,70	33,80	31,50	30,70	31,50	2,30	0,60	3,05	1,830
12	15.00	30	22	6,50	34,00	43,70	34,90	33,90	30,90	30,10	30,90	2,30	0,61	3,01	1,836
13	15.30	30	25	2,50	33,60	42,20	33,90	33,60	30,80	30,40	30,80	2,30	0,52	2,40	1,248
14	16.00	30	22	1,70	33,10	42,00	33,70	33,80	30,90	30,50	30,90	2,30	0,40	1,33	0,532
Maksimum		30	25	8,00	34,10	43,70	35,70	34,50	32,50	33,60	32,50	2,30	0,63	3,10	1,953
Minimum		30	22	0,40	30,20	39,50	32,50	30,90	30,50	29,50	30,50	2,30	0,19	1,10	0,264
Rata-rata		30	23,5	2,54	32,87	42,04	34,33	33,38	31,30	30,81	31,30	2,30	0,46	2,07	1,029

Dari Tabel 1 didapatkan besaran rata-rata tegangan listrik sebesar 0,46 volt, arus listrik sebesar 2,07 ampere, dan daya listrik yang diperoleh sebesar 1,029 watt.

Pada parameter susunan modul termoelektrik dengan rangkaian sambungan paralel memberikan data hasil pengukuran sebagaimana diperlihatkan pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Hasil pengukuran generator dengan sambungan paralel

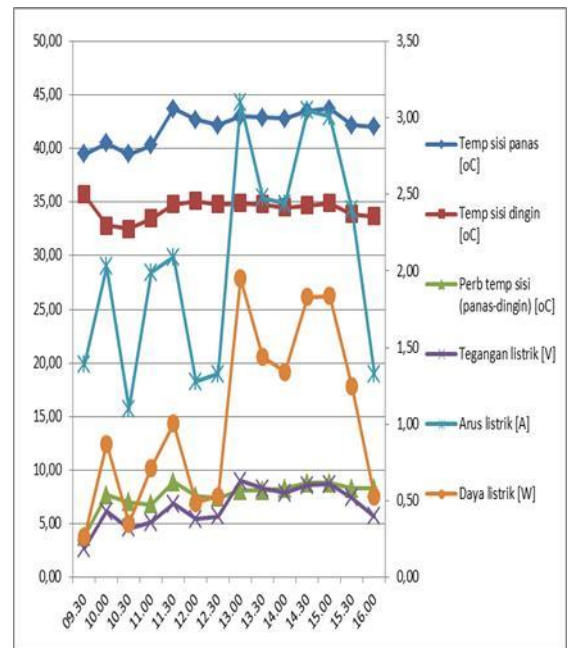
No.	Pukul	DATA MASUKAN											DATA LUARAN		
		Kelembaban Udara Dry bulb	wet bulb	v[m/s]	T _a [°C]	T _{TEC(A)} [°C]	T _{TEC(B)} [°C]	T _p [°C]	T _(in) [°C]	T _(out) [°C]	T _(bak) [°C]	Qw[LPM]	V[V]	I[A]	P [W]
1	09.00	37	32	0,40	32,80	47,70	37,50	35,20	28,90	30,10	28,60	1,50	0,03	0,83	0,025
2	09.30	37	32	0,80	33,00	48,70	37,80	33,30	30,30	32,70	29,70	1,50	0,04	0,56	0,022
3	10.00	36	32	0,50	33,60	51,50	35,60	32,60	30,60	33,20	32,40	1,50	0,03	1,08	0,032
4	10.30	36	32	1,70	33,90	51,30	35,90	32,80	29,40	32,20	31,10	1,50	0,04	2,52	0,101
5	11.00	35	31	1,50	34,90	51,30	36,30	35,10	32,20	33,00	33,80	1,50	0,04	1,30	0,052
6	11.30	35	31	2,30	35,70	49,60	36,30	35,80	33,60	35,60	36,10	1,50	0,02	0,30	0,006
7	12.00	35	30	2,80	35,10	49,80	35,70	28,30	28,70	26,60	27,80	1,50	0,02	0,33	0,007
8	12.30	35	30	1,80	35,20	44,30	34,90	28,10	25,60	26,40	24,00	1,50	0,01	0,39	0,004
9	13.00	35	32	1,50	35,30	45,30	35,10	26,50	25,90	24,30	24,50	1,50	0,03	1,26	0,038
10	13.30	33	32	0,50	36,10	42,90	35,60	30,50	29,90	29,60	25,60	1,50	0,02	1,23	0,025
11	14.00	35	32	0,60	35,10	40,50	34,40	31,50	30,90	30,90	28,60	1,50	0,03	0,97	0,029
12	14.30	33	32	0,60	34,30	36,40	32,80	32,00	31,60	31,10	30,60	1,50	0,03	0,55	0,017
13	15.00	33	32	1,60	31,40	36,40	32,80	32,00	31,60	31,10	31,50	1,50	0,02	0,38	0,008
Maksimum		37	32	2,80	36,10	51,50	37,80	35,80	33,60	35,60	36,10	1,50	0,04	2,52	0,101
Minimum		33	30	0,40	31,40	36,40	32,80	26,50	25,60	24,30	24,00	1,50	0,01	0,30	0,004
Rata-rata		35	32	1,28	34,34	45,82	35,44	31,82	29,94	30,52	29,56	1,50	0,03	0,90	0,028

Hasil pengukuran yang ditampilkan dari Tabel 2 di atas memberikan hasil rata-rata untuk tegangan listrik sebesar

0,03 volt, arus listrik sebesar 0,90 ampere, dan daya listrik yang dihasilkan sebesar 0,028 watt.

Pembahasan

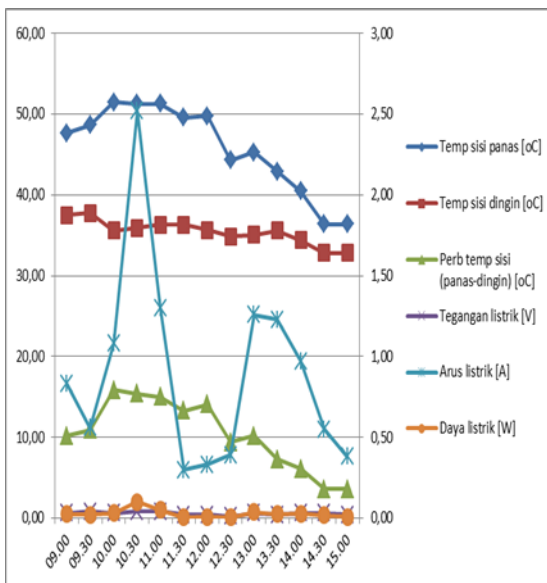
Pembahasan hasil penelitian menguraikan penjelasan data hasil penelitian yang telah diolah dengan melakukan korelasi dengan dasar teori. Pada parameter sambungan modul termoelektrik secara seri memberikan uraian bahasan dari grafik yang dibuat dari tabel 1 yang diperlihatkan pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3 Hasil pengukuran masukan dan luaran sistem generator (seri)

Dari gambar 3 di atas dijelaskan bahwa temperatur sisi panas, temperatur sisi dingin, dan perbedaan temperatur kedua sisi dari sistem termoelektrik memperlihatkan pola yang sama seiring waktu pengukuran. Pola tersebut dipengaruhi oleh penerimaan radiasi termal dari matahari yang diterima penyerap panas pelat aluminium. Perbedaan temperatur antar kedua sisi termoelektrik ini diubah menjadi luaran sistem generator termoelektrik berupa besaran listrik, yakni tegangan dan kuat arus. Sistem thermoelectric generator mengubah termal menjadi listrik karena perbedaan temperatur (Vedanayakam & Suvarna, 2018). Gambar 3 di atas juga menunjukkan grafik tegangan dan arus listrik yang saling berkorelasi linier (Wang et al., 2013), sehingga dapat dipahami bahwa perbedaan temperatur juga berkorelasi linier dengan daya luaran (Vedanayakam & Suvarna, 2018).

Pada parameter sambungan modul termoelektrik secara seri memberikan uraian bahasan dari garfik yang dibuat dari tabel 2 yang diperlihatkan pada gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4 Hasil pengukuran masukan dan luaran sistem generator (paralel)

Gambar 4 di atas memberikan gambaran bahwa hubungan antara besaran masukan terhadap besaran luaran pada sistem generator termoelektrik yang disusun paralel. Dari gambar tersebut tampak bahwa sepanjang waktu pengukuran terjadi perubahan pola grafik temperatur sisi panas, temperatur sisi dingin, dan perbedaan temperatur kedua sisi termoelektrik dalam kecenderungan yang sejajar. Adanya perbedaan temperatur generator termoelektrik dapat mengubah panas menjadi listrik (Vedanayakam & Suvarna, 2018).

Kesimpulan

Pada penempatan generator termoelektrik pada atap model bangunan dengan sambungan modul termoelektrik seri menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 1,029 watt. Sementara hasil dari sambungan paralel memperoleh daya listrik rata-rata sebesar 0,028 watt. Daya luaran yang diperoleh dari sambungan seri lebih besar dari sambungan paralel. Hal ini disebabkan perolehan tegangan dan arus yang lebih besar pada sambungan seri.

Korelasi perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin sistem termoelektrik terhadap tegangan listrik, arus listrik, serta daya listrik adalah linier untuk kedua jenis susunan sambungan rangkaian.

Penelitian dapat dilanjutkan dengan pengembangan menentukan figure of merit dari material modul termoelektrik, sehingga simpulan yang didapat dari kinerja generator termoelektrik lebih memuaskan.

References

- Asif, M., & Muneer, T. (2010). Solar Thermal Technologies. In B. L. Capehart (Ed.), *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology - 3 Volume Set (Print Version)* (pp. 1321–1330). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780849338960.ch154>
- Dincer, I., & Midilli, A. (2007). Green Energy. In B. L. Capehart (Ed.), *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology* (pp. 771–786). CRC Press.
- Franklin M. Orr, J., & Benson, S. M. (2012). Sustainability and energy conversions. In D.
- S. Ginley & D. Cahen (Eds.), *Fundamentals of Materials for Energy and Environmental Sustainability* (pp. 36–47). Cambridge University Press.
- Jager, K., Isabella, O., Smets, A. H. M., van Swaaij, R. A. C. M. M., & Zeman, M. (2014). Solar energy Fundamentals, Technology, and Systems. In *Delft University of Technology*.
- Lee, H. (2010). *Heat Sinks , Thermoelectrics , Heat Pipes , Compact Heat Exchangers , and Solar Cells*. John Wiley & Sons.
- Lewis, N. S. (Ed.). (2005). *Basic Research Needs for Solar Energy Utilization*. U.S. Department of Energy.
- Nolas, G. S., Sharp, J., & Goldsmid, H. J. (2001). *Basic Principles and New Materials Developments*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04569-5>
- Rifky. (2020). *Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics System (PV) dan Thermoelectric Cooler (TEC)*. Universitas Pancasila.

Rosen, M. A. (2007). Natural Energy versus Additional Energy. In B. L. Capehart (Ed.),

Encyclopedia of Energy Engineering and Technology (pp. 1088–1110). CRC Press.

Terry M. Tritt, Xinfeng Tang, Qingjie Zhang, and W. X. (2012). Solar thermoelectrics: direct solar thermal energy conversion. In *Fundamentals of Materials for Energy and Environmental Sustainability* (Vol. 5, Issue 4). Materials Research Society.

Vedanayakam, V., & Suvarna, P. (2018). *Study Of Thermoelectric Generator In Different Combinations Of Series And Parallel Configurations - Calculation Of Power And Efficiency*. 8(7), 30–34.
<https://doi.org/10.9790/9622-0807033034>

Wang, Y. T., Liu, W., Fan, A. W., & Li, P. (2013). Performance comparison between series- connected and parallel-connected thermoelectric generator systems. *Applied Mechanics and Materials*, 327(June), 327–331.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.325-326.327>